JIS Z 4511 (2005) (Japanese): Methods of calibration for exposure meters, air kerma meters, air absorbed dose meters and dose-equivalent meters

照射線量測定器，空気カーマ測定器，空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法

JIS Z 4511 : 2005

(JEMIMA/JSA)

(2009 確認)

平成 17 年 3 月 20 日 改正

日本工業標準調査会 審議

(日本規格協会 発行)

日本工業標準調査会標準部会 計測計量技術専門委員会 構成表

	氏名	所属
(委員会長)	梶 村 皓 二	財団法人機械振興協会
(委員)	石 崎 法 夫	独立行政法人製品評価技術基盤機構
	井 戸 一 朗	社団法人日本電気計測器工業会
	伊 藤 尚 美	社団法人日本計量機器工業連合会
	大 園 成 夫	東京電機大学
	岡 路 正 博	独立行政法人産業技術総合研究所
	苅 谷 道 郎	株式会社ニコン
	河 野 嗣 男	東京都立科学技術大学名誉教授
	高 辻 乗 雄	日本精密測定機器工業会
	桜 井 康 好	環境省

主 務 大 臣：経済産業大臣　制定：昭和 50.7.1　改正：平成 17.3.20
官 報 公 示：平成 17.3.22
原 案 作 成 者：社団法人日本電気計測器工業会
(〒105-0001　東京都港区虎ノ門 1-9-10　計測会館　TEL 03-3502-0603)
財団法人日本規格協会
(〒107-8440　東京都港区赤坂 4-1-24　TEL 03-5770-1573)
審 議 部 会：日本工業標準調査会　標準部会（部会長　二瓶　好正）
審議専門委員会：計測計量技術専門委員会（委員会長　梶村　皓二）

この規格についての意見又は質問は，上記原案作成者又は経済産業省産業技術環境局 基準認証ユニット産業基盤標準化推進室（〒100-8901　東京都千代田区霞が関 1-3-1）にご連絡ください。

なお，日本工業規格は，工業標準化法第 15 条の規定によって，少なくとも 5 年を経過する日までに日本工業標準調査会の審議に付され，速やかに，確認，改正又は廃止されます。

まえがき

この規格は，工業標準化法第14条によって準用する第12条第1項の規定に基づき，社団法人日本電気計測器工業会(JEMIMA)/財団法人日本規格協会(JSA)から，工業標準原案を具して日本工業規格を改正すべきとの申出があり，日本工業標準調査会の審議を経て，経済産業大臣が改正した日本工業規格である。

これによって，**JIS Z 4511**:1999 及び **JIS Z 4511**:2001（追補1）は改正され，この規格に置き換えられる。

この規格の一部が，技術的性質をもつ特許権，出願公開後の特許出願，実用新案権，又は出願公開後の実用新案権登録出願に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣及び日本工業標準調査会は，このような技術的性質をもつ特許権，出願公開後の特許出願，実用新案権，又は出願公開後の実用新案登録出願にかかわる確認について，責任はもたない。

JIS Z 4511 には，次に示す附属書がある。

附属書1（**規定**） 個人線量計の校正方法

附属書2（**規定**） 実用測定器の確認校正

目　次

ページ

日本工業規格　　　　JIS
Z 4511 : 2005

照射線量測定器，空気カーマ測定器，空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法

Methods of calibration for exposure meters, air kerma meters, air absorbed dose meters and dose-equivalent meters

序文　この規格は，**JIS Z 4511**：1999 を，平成 13 年 4 月からの新しい計量法及び **ICRP**-1990 年の勧告を取り入れた新しい放射線障害防止関連法令などの施行に伴い，空気カーマ基準の導入など，校正の体系の基本的事項について，平成 12 年度に追加された追補を含めて全面的に改正したものである。

1.　適用範囲　この規格は，光子エネルギー10 keV～3 MeV の照射線量測定器，空気カーマ測定器，空気吸収線量測定器及び線量当量測定器（以下，測定器という。）の校正方法（ただし，特定標準器又は特定二次標準器などによる計量法に基づく校正は除く。）について規定する。

2.　引用規格　次に掲げる規格は，この規格に引用されることによって，この規格の規定の一部を構成する。これらの引用規格のうちで発行年を付記してあるものは，記載の年の版だけがこの規格を構成するものであって，その後の改正版・追補には適用しない。発効年を付記していない引用規格は，その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS Z 4001　原子力用語

JIS Z 4331　X・γ 線及び β 線個人線量計校正用ファントム

JIS Z 8103　計測用語

JIS Z 8401　数値の丸め方

ISO 4037-1:1996, X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy－Part 1: Radiation characteristics and production methods

ISO 4037-3:1999, X and gamma reference radiation for calibrating dosemeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy－Part 3: Calibration of area and personal dosemeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence

3.　定義　この規格で用いる主な用語の定義は，**JIS Z 4001** 及び **JIS Z 8103** によるほか，次による。

備考1.　単位時間当たりの線量当量を“線量当量率”といい，この規格においては線量当量（又は線量当量率）を“線量当量（率）”と書き表す。

2.　単位時間当たりの照射線量を“照射線量率”といい，この規格においては照射線量（又は照射線量率）を“照射線量（率）”と書き表す。同様に，単位時間当たりの空気カーマ及び空気吸収線量をそれぞれ“空気カーマ率”，“空気吸収線量率”といい，この規格においては空気

カーマ（又は空気カーマ率）を空気カーマ（率），空気吸収線量（又は空気吸収線量率）を空気吸収線量（率）と書き表す。

a)　線量当量関係の定義

1)　**ICRU 球**　質量百分率が，酸素 76.2 %，炭素 11.1 %，水素 10.1 %及び窒素 2.6 %の元素組成をもつ，密度 1 g/cm^3 で直径 30 cm の球。

2)　**ICRU スラブ**　質量百分率が，酸素 76.2 %，炭素 11.1 %，水素 10.1 %及び窒素 2.6 %の元素組成をもつ，密度 1 g/cm^3 で，30 cm×30 cm×15 cm の直方体。

3)　**1 cm 線量当量**　場所にかかわる 1 cm 線量当量及び個人にかかわる 1 cm 線量当量の総称。場所にかかわる 1 cm 線量当量は，ICRU 球を単一方向の面平行ビームの光子で照射したとき，入射方向に沿い入射面から主軸上 1 cm の深さにおける線量当量。また，個人にかかわる 1 cm 線量当量は ICRU スラブを単一方向の面平行ビームの光子で主平面に垂直に照射したとき，入射面から主軸上 1 cm 深さにおける線量当量。1 cm 線量当量を H_{1cm} で示す。

　なお，この線量当量率を，$\dot{H}_{1cm}$ で示す。

4)　**70 μm 線量当量**　場所にかかわる 70 μm 線量当量及び個人にかかわる 70 μm 線量当量の総称。場所にかかわる 70 μm 線量当量は，ICRU 球を単一方向の面平行ビームの光子で照射したとき，入射方向に沿い入射面から主軸上 70 μm の深さにおける線量当量。また，個人にかかわる 70 μm 線量当量は，ICRU スラブを単一方向の面平行ビームの光子で主平面に垂直に照射したとき，入射面から主軸上 70 μm 深さにおける線量当量。70 μm 線量当量を，$H_{70\mu m}$ で示す。

　なお，この線量当量率を $\dot{H}_{70\mu m}$ で示す。

5)　**ICRU 球線量当量（率）**　場所にかかわる 1 cm 線量当量（率）及び 70 μm 線量当量（率）の総称。

6)　**ICRU スラブ線量当量（率）**　個人にかかわる 1 cm 線量当量（率）及び 70 μm 線量当量（率）の総称。

7)　**線量当量換算係数**　自由空間中での空気カーマ（率）から ICRU 球線量当量（率）又は ICRU スラブ線量当量（率）を算出するときに用いる換算係数。

8)　**空気吸収線量換算係数**　照射線量（率）から空気吸収線量（率）を算出するときに用いる換算係数(＝33.97 Gy×kg/C)。

9)　**空気カーマ換算係数**　照射線量（率）から空気カーマ（率）を算出するときに用いる換算係数(＝33.97×$(1-g)^{-1}$ Gy×kg/C)。ここで g は制動放射による損失割合を示す。

b)　校正関係の定義

1)　**照射線量測定器**　照射線量（率）の測定を行うための測定器。

2)　**空気カーマ測定器**　空気カーマ（率）の測定を行うための測定器。

3)　**空気吸収線量測定器**　空気吸収線量（率）の測定を行うための測定器。以下，この規格では 1.5 MeV 以下の光子に対して空気吸収線量測定器を空気カーマ測定器に含める。

4)　**線量当量測定器**　ICRU 球又は ICRU スラブ線量当量（率）の測定を行うための測定器。

5)　**照射線量（率）基準**　校正装置によって設定された基準となる照射線量（率）。

6)　**空気カーマ（率）基準**　照射線量（率）基準に空気カーマ換算係数を乗じて得られる基準となる空気カーマ（率）。

7)　**空気吸収線量（率）基準**　照射線量（率）基準に空気吸収線量換算係数を乗じて得られる基準となる空気吸収線量（率）基準。以下，この規格では，空気吸収線量（率）基準を空気カーマ（率）基準に含める。

8) **線量当量（率）基準**　空気カーマ（率）基準に線量当量換算係数を乗じて得られる基準となる **ICRU** 球線量当量（率）又は **ICRU** スラブ線量当量（率）。

9) **線量（率）基準**　照射線量（率）基準，空気カーマ（率）基準，空気吸収線量（率）基準及び線量当量（率）基準の総称。

10) **校正**　線量（率）基準と測定器の表す値との関係を求めること。

11) **校正装置**　照射線量（率）又は空気カーマ（率）基準を設定するための基準器と照射装置又は基準となるγ線源。

12) **特定標準器**　計量法に基づき経済産業大臣が指定した標準測定器。

13) **特定二次標準器**　計量法に基づき特定標準器を用いて校正された標準器。また，この規格では，計量法上特定二次標準器と同等と見なされる標準器（ワーキングスタンダード）を含む。

14) **基準器**　校正を行う場合に基準となる測定器。基準器の種類には，基準測定器及び実用基準測定器がある。また，実用基準測定器の種類には，照射線量又は空気カーマ実用基準測定器と線量当量実用基準測定器とがある。

15) **照射装置**　校正に使用するγ線照射装置又はX線照射装置の総称。

16) **基準γ線源**　線量（率）基準を設定するための基準となるγ線源で特定二次標準器によって値付けのされたもの。

17) **実用γ線源**　実用測定器を校正するためにだけ用いられるγ線源。基準測定器によって線量率が値付けされた実用基準γ線源と線量率基準をもたない確認校正用のγ線源とがある。

18) **実用照射装置**　線量（率）基準を設定するための簡易な照射装置。

19) **実用測定器**　実用に供している測定器。照射線量実用測定器，空気カーマ実用測定器，空気吸収線量実用測定器及び線量当量実用測定器がある。この規格では，空気吸収線量実用測定器を空気カーマ実用測定器に含める。

20) **基準校正**　特定二次標準器，基準測定器又は実用基準測定器の校正。

21) **実用校正**　実用測定器の校正。

22) **確認校正**　実用に供している実用測定器について，定期的な性能維持の確認を目的として，線量(率)基準を用いず実用線源による校正定数の変動の有無に着目して行う簡易的な校正。

23) **置換法**　同一条件の照射場に基準器及び被校正測定器を交互に置き換えて，校正を行う方法。ここで，置換法には，**ISO 4037-3** に規定する被校正測定器と基準器とを同時に照射する方法及び照射装置の出力変動を監視するビームモニタを併用する方法を含める。

24) **線源法**　基準γ線源又は実用基準γ線源によって被校正測定器の校正を行う方法。

25) **逆2乗法**　線量（率）基準を基に任意の距離における照射線量，空気カーマ又は線量当量（率）を計算によって求め，被校正測定器の校正を行う方法。

26) **校正定数**　基準とする照射線量（率），空気カーマ（率）又は線量当量（率）を被校正測定器の指示値で除した値。

4. 校正の体系　国家標準から一次，二次及び実用照射線量（率）又は空気カーマ（率）基準へと移行する校正の体系は，**図1**及び次による。

a) 校正は，特定二次標準器，基準測定器又は実用基準測定器を対象とする基準校正と，実用測定器を対象とする実用校正とに分類する。

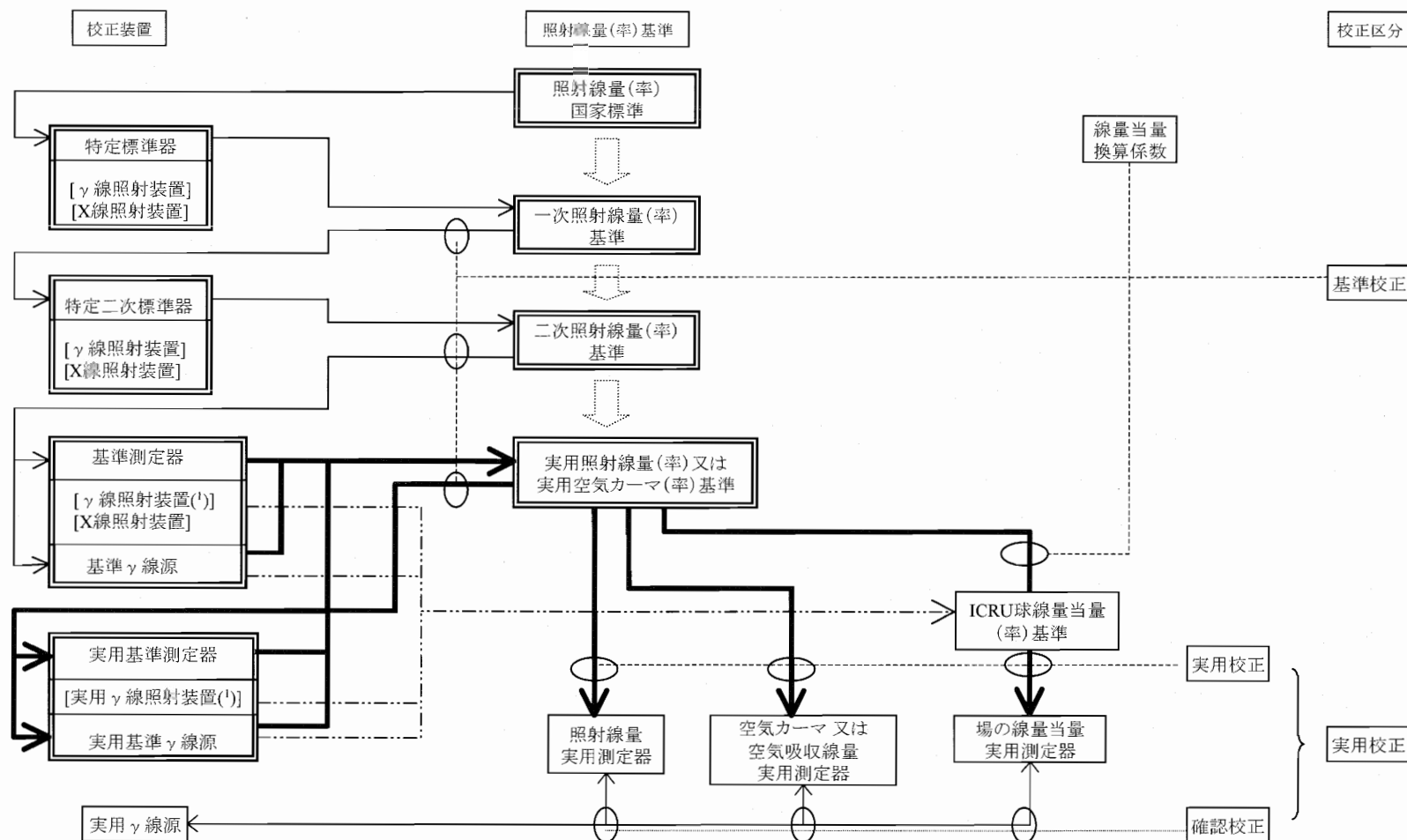
b) 基準校正は，一次照射線量（率）又は一次空気カーマ（率）基準による特定二次標準器の校正，二次

照射線量（率）又は二次空気カーマ（率）基準による基準測定器の校正及び実用照射線量（率），実用空気カーマ（率）又は実用線量当量（率）基準による実用基準測定器の校正とする。

c) 実用校正は，照射線量実用測定器及び空気カーマ実用測定器についてはそれぞれ実用照射線量（率）基準及び実用空気カーマ（率）基準による校正並びに確認校正とする。線量当量実用測定器については，実用空気カーマ（率）基準に線量当量換算係数を乗じて得られた線量当量（率）基準による校正及び線量当量実用基準測定器によって値付けられた実用線量当量（率）基準による校正並びに確認校正とする。

d) 特定標準器は，計量法上の最高位の国家標準器である。特定二次標準器は，一次照射線量（率）基準又は一次空気カーマ（率）基準によって校正された標準測定器である。

e) 基準γ線源は，特定二次標準器によって線源の照射線量率，空気カーマ率又は線量当量率が値付けられたγ線源とする。同様に値付けられたγ線照射装置を単独で使用する場合，これに含める。

f) 実用基準γ線源は,基準測定器によって線源の照射線量率，空気カーマ率又は線量当量率が値付けられたγ線源とする。同様に値付けられたγ線照射装置を単独で使用する場合，これに含める。

注(1) コリメート型γ線照射装置又は基準γ線源の空気カーマ(率)に線量当量換算係数を乗じて，**ICRU** 球線量当量(率)の照射装置又は基準γ線源として使用できる。実用γ線照射装置を **ICRU** 球線量当量(率)で値付けして，実用 **ICRU** 球線量当量(率)基準を設定できる。

備考1. 特定二次標準器及び基準測定器（常用参照標準を含む）の校正は，この規格の対象範囲外とする。また，確認校正の方法については，**附属書2**に示す。

2. 実線は実際の連係を示し，点線の矢印は国家標準と基準間とのつながりを示す。二点鎖線は実用ICRU球線量当量(率)基準へのつながりを示す。

3. ICRUスラブ線量当量(率)基準による校正の体系は，**附属書1付図1**に示す。

参考 照射線量(率)基準は，空気カーマ換算係数を乗じることによって，空気カーマ(率)基準として使用できる。また，実用照射線量(率)基準に空気吸収線量換算係数を乗じて実用空気吸収線量(率)基準を設定した場で，空気吸収線量実用測定器を校正できる。

図1 校正の体系

5.　校正定数の不確かさの求め方　校正定数の不確かさにおける信頼度は 95 %とする。不確かさの総合は，個々の事象にかかわる不確かさの 2 乗和の平方根とする。校正における不確かさは，基準を設定した場の不確かさ（基準測定器の性能を含む校正の不確かさ又は基準γ線源の校正の不確かさ。）と被校正測定器の不確かさと（校正の不確かさを含む。）の 2 乗和の平方根として求める。

6.　校正の不確かさ

6.1　基準校正の不確かさ　基準校正の不確かさは，次による。

a) ^{137}Cs 又は ^{60}Co のγ線エネルギーによって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，照射線量又は空気カーマ実用基準測定器を校正する場合の不確かさは，6 %以下とする。

b) ^{137}Cs 又は ^{60}Co のγ線エネルギーによって線量当量（率）基準を設定した場で，線量当量実用基準測定器を校正する場合の不確かさは，6 %以下とする。

参考　二次照射線量（率）基準又は二次空気カーマ（率）基準を設定した場で，基準測定器を校正する場合の不確かさは，5 %以下である。

6.2　実用校正の不確かさ　実用校正の不確かさは，次による。

a) 実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，照射線量又は空気カーマ実用測定器を校正する場合の不確かさは，20 %以下とする。

b) 実用空気カーマ（率）基準に，線量当量換算係数を乗じて線量当量（率）基準を設定した場で，線量当量実用測定器を校正する場合の不確かさは，20 %以下とする。

なお，線量当量（率）基準を求めるための線量当量換算係数の誤差は，考慮しないものとする。

7.　基準器及び照射装置

7.1　基準測定器　基準測定器の検出器は，電離箱式とする。電離箱は，使用するエネルギー範囲ごとに，適応する壁厚又は入射窓厚をもち，**表 1** の性能を満たすものとする。

表 1　基準測定器の性能（%）

性能項目	検出器の使用エネルギー範囲		
	10 keV 以上 30 keV 未満	30 keV 以上 300 keV 未満	300 keV 以上 3 000 keV 未満
レスポンスの再現性(2)	＜1.0	＜1.0	＜1.0
方向特性(3)	＜1.0	＜0.5	＜0.5
線量率特性(4)	＜0.5	＜0.5	＜0.5
ステム効果(5)	＜0.5	＜1.0	＜0.5
目盛の直線性(6)	＜0.5	＜0.5	＜0.5
エネルギー特性(7)	＜±10	＜±6	＜±2

注(2)　線質，線量率などの照射条件をほぼ一定に保ち，長時間照射した場合又は日を変えて照射した場合の，校正定数の最大値と最小値との差の最小値に対する百分率。

(3)　規定の照射方向±2°の範囲で，放射線の入射方向を変えて照射を行った場合の，指示値の最大値と最小値との差の最小値に対する百分率。

(4)　照射線量又は空気カーマ測定器を，定格又は使用最大線量率及びその 1/2 程度の線量率で照射した場合の，校正定数の差の最小の校正定数に対する百分率。

(5)　電離箱の柄（前増幅器を含む。）を遮へいした場合と，しない場合との，指示値の差の遮へいした場合に対する百分率。

(6)　同一測定レンジ内において，最大目盛値の 30～100 %の指示範囲における校正定数のうちで最大値と最小値との差の最小値に対する百分率。

(7)　エネルギー特性 C_E(%)は，次の式によって求める。

$$C_{E} = \pm \frac{N_{max} - N_{min}}{N_{max} + N_{min}} \times 100$$

ここに，N_{max}：検出器の使用エネルギー範囲内における校正定数の最大値
N_{min}：検出器の使用エネルギー範囲内における校正定数の最小値

7.2　実用基準測定器　実用基準測定器は，次による。

a)　実用基準測定器は，基準測定器と同等の性能をもつ測定器及び実用校正をしようとしている特定の照射線量又は空気カーマ実用測定器若しくは線量当量実用測定器と同一形式の検出部をもつ測定器とする。

b)　実用基準測定器の性能は，変動係数で示す。^{137}Cs 又は ^{60}Co の γ 線照射装置によって実用基準測定器を同一の照射条件で 4 回以上照射したとき，測定器指示値の変動係数は，0.03 以下とする。

7.3　照射装置，その他校正に必要な器具の性能　照射装置，その他の校正に必要な器具の性能は，次による。

a)　照射線量（率）又は空気カーマ（率）基準場の設定に用いる照射装置，その他の校正に必要な器具の性能は，**表 2** に示すとおりとする。

表 2　照射装置及びその他校正に必要な器具の性能

装置	項目	許容値
γ線照射装置	照射野均一性 %([8])	±2
	シャッタ開閉速度 %([9])	1 以下
	再現性([10])	0.005
X線照射装置	照射野均一性 %([8])	±3
	シャッタ開閉速度 %([9])	1 以下
	X線出力安定度 %([11])	±2
温度計	器差 ℃	±1
湿度計	器差 %	±5
気圧計	器差 kPa	±0.4
計時装置	器差 %	±0.1
長さ計	器差 %	±0.1

注([8]) γ線照射装置及びX線照射装置の照射野の均一性は，1 台の被校正測定器を照射する場合及び複数個の被校正測定器を同時に照射する場合の照射野内の照射線量（率）又は空気カーマ（率）の均一性を意味する。

([9]) シャッタ開閉速度は，シャッタ開閉時間の照射時間に対する百分率を示す。

([10]) γ線照射装置の再現性は，線源を格納状態から照射状態へ変えることによって，基準測定器を 10 回照射したときの指示値の変動係数である。

([11]) X 線出力変動を監視するモニタ電離箱などがある場合には，安定度は±5 %とし，変動分を補正するものとする。

b) 実用照射装置と実用基準測定器とを組み合わせた性能は，実用照射装置で実用基準測定器を同一の照射条件で 4 回以上照射したときの指示値の変動係数で示し，0.05 以下とする。

8. 基準校正

8.1 校正方法

8.1.1 実用基準測定器又は実用基準γ線源　実用基準測定器又は実用基準γ線源は，次のいずれかの方法で校正する。

a) 基準測定器及びγ線照射装置によって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，置換法によって行う。

b) 基準γ線源によって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，線源法によって行う。

c) 実用基準γ線源の線量率の値付けは,線源から決められた点で基準測定器を用いて行う。

8.2 基準校正の校正範囲

8.2.1 実用基準測定器　実用基準測定器の校正範囲は**表 3** による。

表 3　実用基準測定器の校正範囲

器種	目盛	エネルギー
ディジタル式	必要な測定範囲で，各デカードの中心付近の 1 点とする。	− 実用基準測定器については，662 keV (^{137}Cs) 又は 1 250 keV (^{60}Co) の 1 点とする。
アナログ式	必要な測定範囲で，各測定レンジの最大目盛の 1/2 以上の 1 点とする。	

参考　基準測定器の校正範囲を，**参考表 1** に示す。

参考表 1　基準測定器の校正範囲

器種	目盛	エネルギー
ディジタル式	必要な測定範囲で，各デカードの中心付近の 1 点とする。	− 10 keV 以上 30 keV 未満用については 10 keV，20 keV，30 keV 付近のうち 1 点以上とする。 − 30 keV 以上 300 keV 未満用については，30 keV，50 keV，80 keV，150 keV，200 keV 付近のうち 2 点以上とする。 − 300 keV 以上 3 000 keV 以下用については，662 keV(^{137}Cs)，1 250keV（^{60}Co）の 2 点とする。
アナログ式	必要な測定範囲で，各測定レンジの最大目盛の 1/2 以上の 1 点とする。	

8.3　基準校正の環境条件　基準校正を行う環境条件は，**表 4** による。

表 4　基準校正の校正時の環境条件

項目	条件
周囲温度 ℃	20±5
相対湿度 %	≦85
気圧 kPa	95.0〜103.0
バックグラウンド 空気カーマ率 μGy/h	測定器を校正する領域で ≦0.22

8.4　基準校正の照射条件

8.4.1　実用基準測定器　実用基準測定器の校正を行う場合の照射条件は，**6.1.a)**又は **6.1.b)**に規定する不確かさを満足するものとする。

9.　実用校正

9.1　照射線量又は空気カーマ実用測定器の校正方法　照射線量又は空気カーマ実用測定器の校正は，次のいずれかの方法で行う。

a)　基準測定器及び照射装置によって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，置換法又は逆 2 乗法によって行う。

b)　実用基準測定器及び実用照射装置によって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，置換法又は逆 2 乗法によって行う。

c)　基準γ線源又は実用基準γ線源によって実用照射線量（率）基準又は実用空気カーマ（率）基準を設定した場で，線源法又は逆 2 乗法によって行う。

9.2　線量当量実用測定器の校正方法　**ICRU** 球線量当量実用測定器の校正は，次のいずれかの方法で行う。

a)　基準測定器及び照射装置によって実用空気カーマ（率）基準を定め，これに線量当量換算係数を乗じて **ICRU** 球線量当量（率）基準を設定した場で，置換法又は逆 2 乗法によって行う。

b)　**ICRU**　球線量当量実用測定器及び同一形式の検出部をもつ測定器を **a)**で設定した **ICRU** 球線量当量（率）基準で校正し，これを用いて実用照射装置を **ICRU** 球線量当量率で値付けし，**ICRU** 球線量当量実用測定器を置換法によって校正する。

c) 基準γ線源又は実用基準γ線源によって空気カーマ（率）基準を定め，これに線量当量換算係数を乗じてICRU球線量当量（率）基準を設定した場で，線源法又は逆2乗法によって行う。

9.3 ICRU球線量当量（率）基準の決定 ICRU球線量当量（率）は，実用空気カーマ（率）基準を用いて，次の方法で算出する。

a) H_{1cm}は，実用空気カーマ（率）基準(K)及び**付表1**に示す1 cm線量当量換算係数(f_{1cm})を用いて，次の式によって求める。

$$H_{1cm} = K \times f_{1cm}$$

b) $H_{70\mu m}$は，実用空気カーマ（率）基準(K)及び**付表2**に示す70 μm線量当量換算係数($f_{70\mu m}$)を用いて，次の式によって求める。

$$H_{70\mu m} = K \times f_{70\mu m}$$

9.4 実用校正の校正範囲 実用測定器の校正範囲は，**表5**による。

表 5 実用測定器の校正範囲

器種	校正範囲
ディジタル式	各デカードの中心付近の1点とする。
アナログ式	－ 直線目盛の場合には，各測定レンジごとに最大目盛の1/2以上の1点とする。 － 対数目盛の場合には，各デカードごとに2目盛付近の1点とする。
積算式	全測定範囲内の1点とする。

備考 複数の測定レンジをもつ測定器について，使用するレンジが限定される場合には，使用上の要求事項に適合する性能を確保できる最大レンジを上限にしてもよい。

9.5 実用校正の環境条件 実用校正を行う環境条件は，**表6**による。

表 6 実用校正の校正時の環境条件

項目	条件
周囲温度 ℃	20±10
相対湿度 %	≦85
気圧 kPa	85.0～106.0
バックグラウンド 空気カーマ率 μGy / h	測定器を校正する領域で ≦0.22

9.6 実用校正の照射条件 実用校正を行う場合の照射条件は，**6.2**に規定する不確かさを満足するものとする。

10. 照射装置及び測定器の配置 基準校正における照射装置及び測定器の具体的な幾何学的配置は，次による。

a) γ線照射装置は，次による。

1) コリメートγ線の場合には，**図2**のとおりとする。

L：線源・測定器間距離　　*H*：ビーム中心軸・床間距離
a：測定器の検出部寸法　　*S*：ビーム中心軸・側壁間距離（天井を含む。）
B：測定器・後方壁間距離　　θ：ビームの広がり角度

L (m)	*a*/*L*	*B* (m)		*H* (m)	*S* (m)	θ（度）
		L≦3	3＜*L*			
0.5 以上	1/5 以下	1.0 以上	L/3 以上	1.2 以上	1.5 以上	30 以下

備考　ビームの広がり角度(θ)は，最大 40° までとする。この場合，*B*は，*L*≦3 のとき 1.5(m)以上，*L*＞3 のとき *L*/2(m)以上とする。

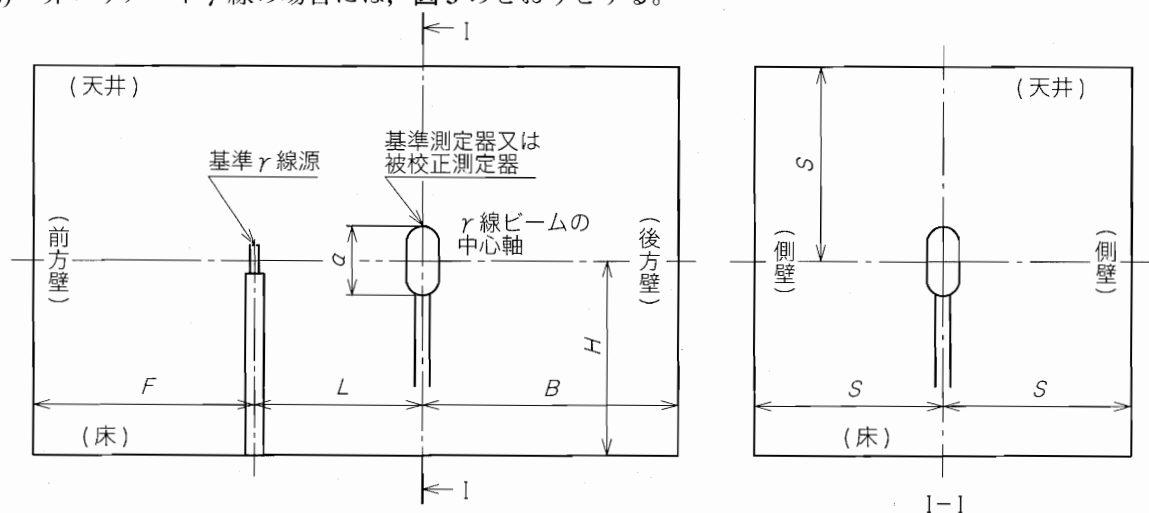
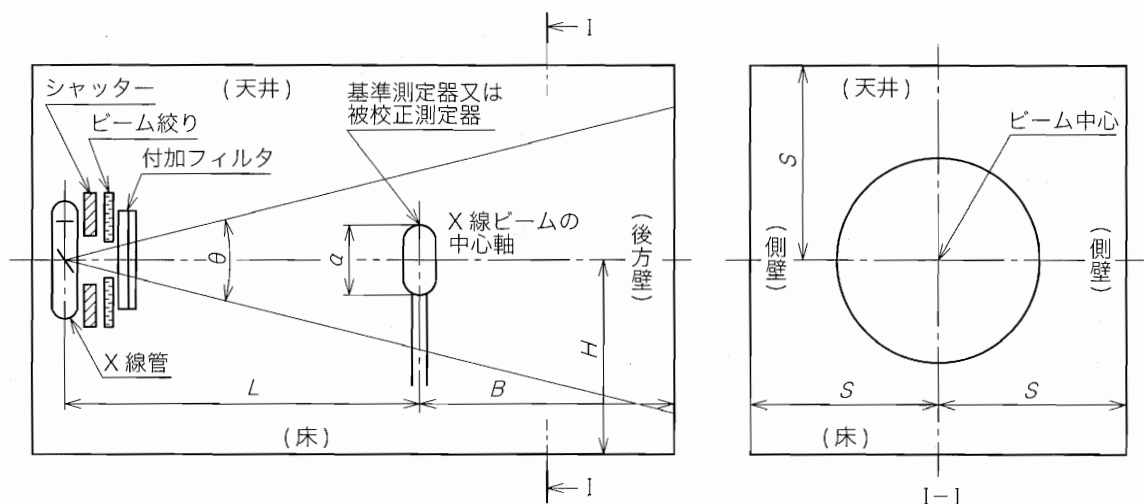
図 2　コリメートγ線の場合

2)　非コリメートγ線の場合には，**図 3** のとおりとする。

L：線源・測定器間距離　　*H*：ビーム中心軸・床間距離
a：測定器の検出部寸法　　*S*：ビーム中心軸・側壁間距離（天井を含む。）
B：測定器・後方壁間距離　　*F*：線源・前方壁間距離

a/*L*	*L* (m)	*B* (m)	*S* (m)	*F* (m)	*H* (m)
1/5 以下	2 以下	2 以上	2 以上	2 以上	1.2 以上

備考　散乱線の影響を評価できる場合は，線源・前方壁間距離(*F*)は 1 m としてもよい。

図 3　非コリメートγ線の場合

b) X 線照射装置は，**図 4** による。

L：線源・測定器間距離
a：測定器の検出部寸法
B：測定器・後方壁間距離
H：ビーム中心軸・床間距離
S：ビーム中心軸・側壁間距離（天井を含む。）
θ：ビームの広がり角度

L (m)	a/L	B (m)	H (m)	S (m)	θ（度）
1.0 以上 6.0 以下	1/10 以下	2.0 以上	1.2 以上	1.5 以上	15 以下

備考 ビーム絞り及び付加フィルタは，散乱線の影響をできるだけ少なくするため X 線管球に近づける。

図 4　X 線照射の場合

11. X 線の線質

11.1 第 1 及び第 2 半価層の測定方法　ある管電圧，管電流，固有フィルタ（空気層を含む。）及び付加フィルタ条件のもとで，ある単一物質の半価層測定用フィルタの厚さに対する線量率を測定し，減衰率曲線を作成する。減衰率 1/2 及び 1/4 に対応する測定用フィルタの厚さを t_1 及び t_2 とし，

第 1 半価層＝t_1,　　第 2 半価層＝(t_2-t_1)

を求める。

なお，エネルギー特性の良好な検出器を使用し，フィルタはX線ビーム軸と垂直に設定し，ナロービームを用いて，フィルタなどからの散乱線の寄与が無視できる条件で測定を行う。

11.2 フィルタ　付加フィルタは，X 線管球の放射口近くに設定し，フィルタとして用いる物質は，アルミニウム，銅，すず及び鉛の 4 種類とする。

半価層測定用フィルタは，アルミニウム，銅及びすずの 3 種類とし，実効エネルギーが 40 keV 以下ではアルミニウム，30～200 keV の範囲では銅，0.1～1 MeV の範囲ではすずをそれぞれフィルタとして使用する。

フィルタに用いる物質の材質は，アルミニウム 99.8 %以上，銅，すず及び鉛は，それぞれ 99 %以上の純度とし，厚さの不確かさは 1 %とする。

11.3 実効エネルギーの求め方 ある X 線ビームの特定物質に対する第 1 半価層を t_1 とし，同物質の光子減衰係数が $\ln 2/t_1$ と等しくなる光子エネルギーE を求める。このエネルギーE を，その X 線ビームの実効エネルギーE_{eff} とする。

11.4 均等度 均等度 HC は，次の式によって求める。

$$HC = \frac{t_1}{(t_2 - t_1)}$$

11.5 線質指標 線質指標 QI は，次の式によって求める。

$$QI = \frac{E_{\text{eff}}}{E_{\text{max}}}$$

ここに，E_{eff} ：実効エネルギー
E_{max} ：最大エネルギー（管電圧に対応する X 線スペクトルの最大エネルギー）

11.6 線質の表示 X 線の線質は，実効エネルギー（keV 又は MeV）で表し，半価層，均等度又は線質指標を併記する。また，X 線の線質は，**ISO 4037-1** で規定する線質表示法を用いてもよい。この場合は，管電圧，平均エネルギー（keV 又は MeV）及び半価層及び均等度を併記する。

12. 照射線量（率），空気カーマ（率）又は空気吸収線量（率）測定器の校正定数の求め方

12.1 置換法の場合 照射装置によって測定器を校正する場合に適用し，被校正測定器の校正定数は，次の式によって求める。

$$N = N_{\text{S}} \times \frac{Q_{\text{S}}}{Q}$$

ここに，N ：被校正測定器の校正定数
N_{S} ：基準器の校正定数
Q_{S} ：基準器の正味の指示値
Q ：被校正測定器の正味の指示値

12.2 線源法の場合 基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源によって測定器を校正する場合に適用し，被校正測定器の校正定数は，次の式によって求める。

$$N = \frac{\dot{M}_{\text{S}}}{Q} \quad \text{（線量率測定器の場合）}$$

又は，

$$N = \frac{\dot{M}_{\text{S}} \times t}{Q} \quad \text{（線量測定器の場合）}$$

ここに，N ：被校正測定器の校正定数
$\dot{M}_{\text{S}}$ ：基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源の線量率
Q ：被校正測定器の正味の指示値
t ：照射時間

12.3　逆 2 乗法の場合　γ 線照射装置，基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源によって測定器を校正する場合に適用し，被校正測定器の校正定数は，次の式によって求める。

$$N=\frac{\dot{M}_{\mathrm{S}}}{Q}$$ （線量率測定器の場合）

又は， $$N=\frac{\dot{M}_{\mathrm{S}}\times t}{Q}$$ （線量測定器の場合）

ここに，
N：被校正測定器の校正定数
Q：被校正測定器の正味の指示値
t：照射時間
$\dot{M}_{\mathrm{S}}$：γ 線源による線量率で，次の式によって求める

$$\dot{M}_{\mathrm{S}}=\dot{M}_{l}\times\frac{l^{2}}{L^{2}}$$

ここに，
$\dot{M}_{l}$：γ 線源からの距離 l における線量率基準
l：$\dot{M}_{l}$ を値付けたときの線源から基準器までの距離
L：γ 線源から被校正測定器までの距離

ただし，γ 線源から被校正測定器までの距離 L における $\dot{M}_{\mathrm{S}}$ の計算は，L に近接する距離 l における線量率基準 $\dot{M}_{l}$ を用いて行う。$\dot{M}_{l}$ の測定間隔は，コリメート γ 線の場合には 1 m，非コリメート γ 線の場合には 0.5 m とする。また，$\dot{M}_{\mathrm{S}}$ の計算式は，測定した $\dot{M}_{l}$ と距離による関数式で表してもよい。

13.　線量当量（率）測定器の校正定数の求め方

13.1　置換法の場合　照射装置によって測定器を校正する場合に適用し，被校正測定器の校正定数は，次の式によって求める。

$$N'=\frac{H_{\mathrm{S}}}{Q}$$

ただし， $$H_{\mathrm{S}}=N_{\mathrm{S}}\times f\times Q_{\mathrm{S}}$$

ここに，
N'：被校正測定器の校正定数
H_{S}：各深さに対応する ICRU 球線量当量
N_{S}：基準器の校正定数
f：**付表 1** 及び**付表 2** に示す線量当量換算係数
Q_{S}：基準器の正味の線量指示量
Q：被校正測定器の正味の線量当量指示値

13.2　線源法の場合　基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源によって測定器を校正する場合に適用し，被校正測定器の校正定数は，次の式によって求める。

$$N'=\frac{\dot{H}_{\mathrm{S}}}{Q}$$ （線量当量率測定器の場合）

又は， $$N'=\frac{\dot{H}_{\mathrm{S}}\times t}{Q}$$ （線量当量測定器の場合）

ただし， $$\dot{H}_{\mathrm{S}}=\dot{K}_{\mathrm{S}}\times f$$

ここに，
N'：被校正測定器の校正定数

$\dot{H}_s$： 各深さに対応する **ICRU** 球線量当量率

$\dot{K}_s$： 基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源の空気カーマ率

f： **付表 1** 及び**付表 2** に示す線量当量換算係数

Q： 被校正測定器の正味の線量当量（率）指示値

t： 照射時間

13.3 逆 2 乗法の場合 γ 線照射装置，基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源によって測定器を校正する場合に適用し，次の式によって求める。

$$N' = \frac{\dot{H}_s}{Q}$$ （線量当量率測定器の場合）

又は，$$N' = \frac{\dot{H}_s \times t}{Q}$$ （線量当量測定器の場合）

ただし，$\dot{H}_s = \dot{K}_s \times f$

ここに，

N'： 被校正測定器の校正定数

$\dot{H}_s$： 各深さに対応する **ICRU** 球線量当量率

f： **付表 1** 及び**付表 2** に示す線量当量換算係数

Q： 被校正測定器の正味の線量当量（率）指示値

t： 照射時間

$\dot{K}_s$： γ 線源による空気カーマ率で，**12.3** に示す方法によって求める。

14. 校正結果の記録 測定器の校正結果は，記録用紙に記入し，その内容は次による。

なお，数値の丸め方は，**JIS Z 8401** による。

a) 実用基準測定器の場合には，校正の結果，使用した基準測定器及び被校正測定器の名称，形式，製造番号，製造業者，校正方法，環境条件，校正年月日，校正者氏名及びその他校正に関する諸条件を記入する。

b) 基準 γ 線源を使用した場合には，線源番号，核種及び基準点における線量率を記入する。実用基準 γ 線源を使用した場合は，線源番号，核種，基準点における線量率を記入するほか，値付けに使用した基準測定器の名称，形式，製造番号及び値付けの実施者と実施年月日とが記載された記録を添付する。

c) 実用測定器の場合には，校正の結果，被校正測定器の名称，形式，製造番号，校正者氏名及び校正年月日を記入する。

付表 1　1 cm 線量当量換算係数（場所にかかわる 1 cm 線量当量）

X 線及び γ 線のエネルギー([12]) MeV	空気カーマから 1 cm 線量当量への 換算係数([13]) Sv/Gy
0.010	0.008
0.015	0.26
0.020	0.61
0.030	1.10
0.040	1.47
0.050	1.67
0.060	1.74
0.080	1.72
0.10	1.65
0.15	1.49
0.20	1.40
0.30	1.31
0.40	1.26
0.50	1.23
0.60	1.21
0.66([14])	1.20
0.80	1.19
1.0	1.17
1.25([15])	1.16
1.5	1.15
2.0	1.14
3.0	1.13
4.0	1.12
5.0	1.11
6.0	1.11
8.0	1.11
10	1.10

注([12]) 線源から放出される X 線及び γ 線のエネルギーが，単一エネルギーの場合には光子エネルギー，単一エネルギーでない場合には実効エネルギーとする。
該当するエネルギーがない場合は，補間法によって求める。
([13]) 空気カーマから 1 cm の深さにおける **ICRU** 球線量当量への換算係数である。
([14]) ^{137}Cs γ 線のエネルギーである。
([15]) ^{60}Co γ 線の等価換算係数に対応するエネルギーである。
参考　この表は，**ICRP Publ.74** によった。

付表 2　70 µm 線量当量換算係数（場所にかかわる 70 µm 線量当量）

X 線及び γ 線のエネルギー([12]) MeV	空気カーマから 70 µm 線量当量への換算係数([16]) Sv/Gy
0.010	0.95
0.015	0.99
0.020	1.05
0.025	1.13
0.030	1.22
0.040	1.41
0.050	1.53
0.060	1.59
0.080	1.61
0.10	1.55
0.15	1.42
0.20	1.34
0.30	1.31
0.40	以下，1 cm 線量当量と同一
0.50	
0.60	
0.66([15])	
0.80	
1.0	
1.25([16])	
1.5	
2.0	
3.0	
4.0	
5.0	
6.0	
8.0	
10	

注([12])，**注**([14])及び**注**([15])は，**付表 1** の注参照。

([16]) 空気カーマから 70 µm の深さの **ICRU** 球線量当量への換算係数である。

参考　この表は，**ICRP Publ.74** によった。

付表 3　照射線量—空気カーマ換算係数

X 線及び γ 線のエネルギー([17]) MeV	照射線量から空気カーマへの換算係数 ([18]) mGy/R	1-*g*([19])
0.010	8.76	1.000
(0.010 MeV から 1.0 MeV までは 0.010 MeV の換算係数に同一)		
1.0	8.76	1.000
1.5	8.76	0.996
2.0	8.83	0.995
3.0	8.85	0.991
4.0		0.988
5.0		0.984
6.0		0.980
8.0		0.972
10		0.964

注([17]) X 線及び γ 線のエネルギーは，単一エネルギーの場合には光子エネルギー，単一エネルギーでない場合には実効エネルギーとする。該当するエネルギーがない場合は，補間法によって求める。

([18]) 照射線量(単位：R)から自由空間中の空気カーマへの換算係数である。ここで，1 R $=2.58\times10^{-4}$ C/kg である。エネルギーが 3 MeV 以上では電子平衡の条件を外れることによって，照射線量を正確に決定することができない。

([19]) (1-*g*)は制動放射損失による補正係数である。

参考　出典 **ICRU 47**(1992)

附属書 1（規定）個人線量計の校正方法

1. 適用範囲 この附属書は，個人線量計の校正方法について規定する。

2. 個人線量計校正の体系 個人線量計校正の体系は，本体の **4.**によるほか，**附属書 1 付図 1** 及び次による。

a) 校正は，個人線量計をファントムに設置して行う基準となるファントム校正と，ファントムを用いない校正とに分類する。

b) ファントム校正は，実用空気カーマ（率）基準に**附属書 1 付表 1** 及び**附属書 1 付表 2** に示す線量当量換算係数（以下，線量当量換算係数という。）を乗じて得られた **ICRU** スラブ線量当量（率）基準による個人線量計の校正とする。

c) ファントムを用いない校正([1])は，線量当量実用基準測定器と照射装置又は γ 線源とによって設定される **ICRU** スラブ線量当量（率）基準による個人線量計の校正とする。

注([1]) ファントムを用いない個人線量計の校正は，個人線量計を線量当量実用基準測定器として用いる方法であり，同一形式の線量計を校正する場合にだけ実施することができる。

3. ファントム校正 個人線量計のファントム校正は，次による。

a) ファントム校正の方法 個人線量計のファントム校正は，個人線量計を **JIS Z 4331** に規定するファントムに設置して行う。この場合，個人線量計は，ファントムの中央部に，かつ，ファントムにできるだけ接近させて設置する。

ファントムに設置した個人線量計（以下，ファントム設置個人線量計という。）の校正は，次のいずれかの方法で行う。

1) 基準測定器及び照射装置によって実用空気カーマ（率）基準を定め，これに線量当量換算係数を乗じて **ICRU** スラブ線量当量（率）基準を設定した場で，置換法又は逆 2 乗法によって行う。

2) 基準 γ 線源又は実用基準 γ 線源によって実用空気カーマ（率）基準を定め，これに線量当量換算係数を乗じて **ICRU** スラブ線量当量（率）基準を設定した場で，線源法又は逆 2 乗法によって行う。

b) 照射装置及び個人線量計の配置 照射装置及びファントム設置個人線量計の具体的な幾何学的配置は，本体の **10.**によるほか，次による。

1) 個人線量計を設置したファントム全体を照射する。

2) 線源とファントム設置個人線量計との距離は，2 m 以上とする。

3) 校正距離の計測は，通常，線源の中心と検出器中心との間で行う。

4) ファントムは，その照射面の中心における垂線が，照射ビームの中心軸と一致するように設置する。

5) ファントムは，木枠又は低密度材製の台を用いて校正テーブル表面から 20 cm 以上離して設置する。

備考1. 校正距離が 2 m 以上であるため，校正距離の計測はファントムの表面で行ってもよい。

2. ファントム校正を実施するとき，これを床から空間に支持するための小形テーブルを“校正テーブル”と呼ぶ。

c) 校正定数の求め方 個人線量計の校正定数は，本体の **13.**に示す方法によって求める。

4.　ファントムを用いない校正　個人線量計のファントムを用いない校正は，次による。

a)　**3.**によって校正した個人線量計［以下，基準となる個人線量計(2)］を照射装置又はγ線源を用いてファントムなしで照射し，その指示値（I_0）を求める。次に，その指示値がファントム上において得られたと仮定した場合の，照射位置における**ICRU**スラブ線量当量率（以下，見掛けの基準線量当量率：$\dot{H}_0$）を次の式によって求める。

$$\dot{H}_0 = \frac{I_0 \times N_0}{t_0}$$

ここに，　N_0：**3.**で求めた基準となる個人線量計の校正定数
I_0：基準となる個人線量計の指示値
t_0：照射時間

b)　**a)**の線量計と同形式の被校正個人線量計を同一の照射条件によって照射し，その指示値(I)を求める。被校正線量計の校正定数(N)は，次の式によって求める。

$$N = \frac{\dot{H}_0 \times t}{I} = \frac{I_0 \times t}{I \times t_0} \times N_0$$

ここに，　$\dot{H}_0$：見掛けの基準線量当量率
N_0：基準となる個人線量計の校正定数
I_0：基準となる個人線量計の指示値
t_0：基準となる個人線量計の照射時間
t：被校正線量計の照射時間

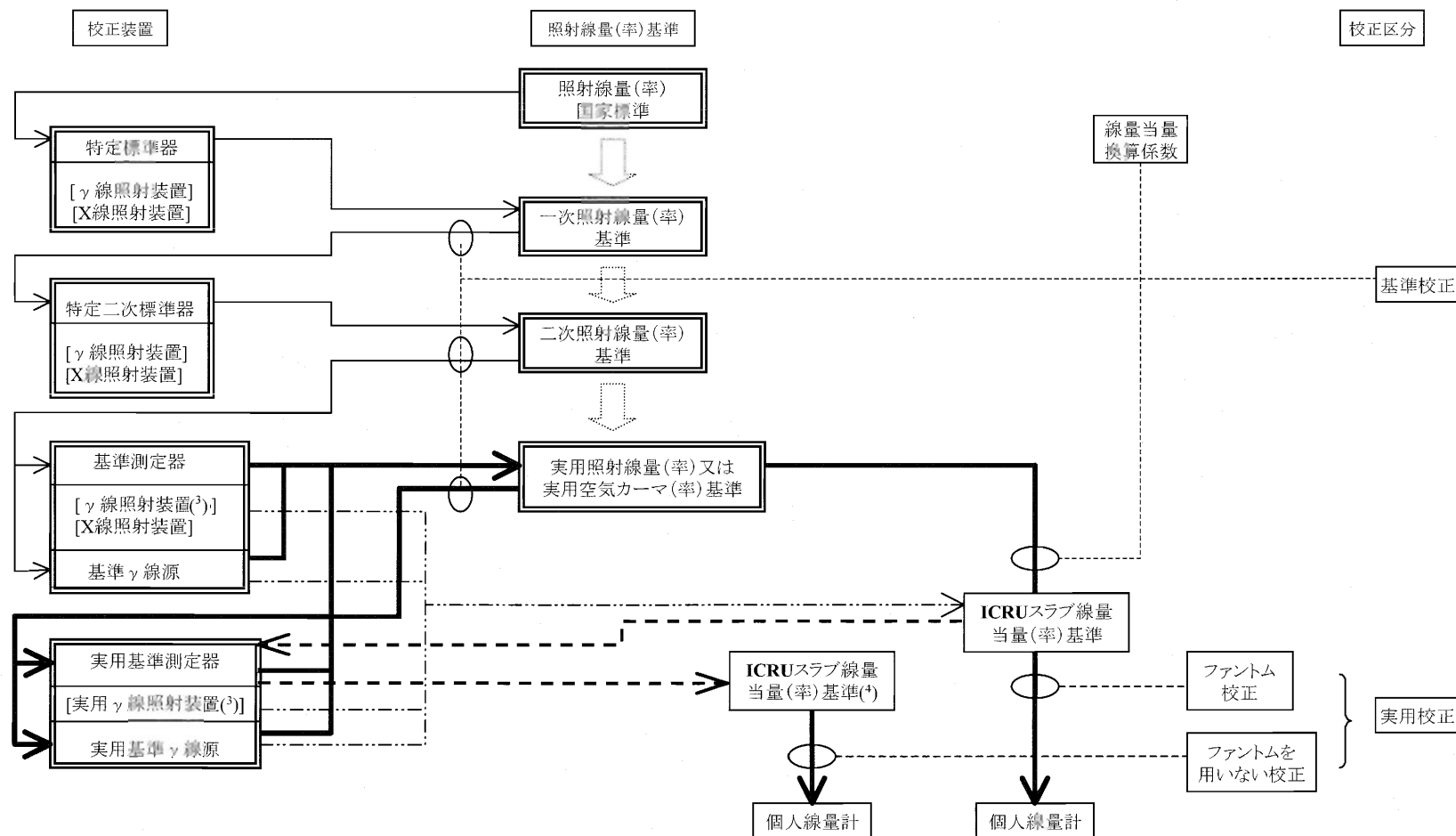
注(2)　基準となる個人線量計は，本体 **7.2** に規定する実用基準測定器の要件を満たしていなければならない。

備考1.　照射装置の線源又は実用γ線源は，^{137}Cs又は^{60}Coとする。

2.　基準γ線源，実用基準γ線源又は実用γ線照射装置を用いる場合において，個人線量計の照射位置における**ICRU**スラブ線量当量率($\dot{H}_s$)が分かっているときは，基準となる個人線量計をファントム上に設置した場合に示す指示値(I_{OP})と自由空間中に設置した場合に示す指示値(I_{FA})との比［以下，変換係数(q)］をあらかじめ求めておき，これを被校正線量計の指示値(I_P)に乗じて得られる見掛けの指示値(I_C)から，次の式によって校正定数(N_P)を求めてもよい。

$$N_P = \frac{\dot{H}_S \times t}{I_C} = \frac{\dot{H}_S \times t}{I_P \times q}$$

ただし，

$$I_C = I_P \times q \qquad q = \frac{I_{OP}}{I_{FA}}$$

注(3)　γ線照射装置又は基準γ線源の空気カーマ(率)に線量当量換算係数を乗じて，**ICRU** スラブ線量当量(率)の照射装置又は基準γ線源として使用できる。実用γ線照射装置を **ICRU** 球線量当量(率)で値付けして，実用 **ICRU** スラブ線量当量(率)基準を設定できる。

(4)　個人線量計を実用基準測定器として実用 **ICRU** スラブ線量当量(率)基準を設定し，同形式の個人線量計を校正できる。

備考1.　特定二次標準器及び基準測定器（常用参照標準を含む。）の校正は，この規格の対象範囲外とする。

2.　実線は実際の連係を示し，点線の太矢印は国家標準と基準間とのつながりを示す。二点鎖線は実用**ICRU**スラブ線量当量(率)基準へのつながりを示す。

参考　照射線量(率)基準は，空気カーマ換算係数を乗じることによって，空気カーマ(率)基準として使用できる。

附属書1付図1　個人線量計校正の体系

附属書1付表 1　1 cm線量当量換算係数（個人にかかわる1 cm線量当量）

X線及びγ線のエネルギー(5) MeV	空気カーマから1 cm線量当量への換算係数(6) Sv/Gy
0.010	0.009
0.012 5	0.098
0.015	0.264
0.017 5	0.445
0.020	0.611
0.025	0.883
0.030	1.112
0.040	1.490
0.045	1.645
0.05	1.766
0.06	1.892
0.08	1.903
0.10	1.811
0.125	1.696
0.15	1.607
0.20	1.492
0.30	1.369
0.40	1.300
0.50	1.256
0.60	1.226
0.66(7)	1.213
0.80	1.190
1.0	1.167
1.25(8)	1.149
1.5	1.139
3.0	1.117
6.0	1.109
10.0	1.111

注(5)　線源から放出されるX線及びγ線のエネルギーが，単一エネルギーの場合には光子エネルギー，単一エネルギーでない場合には実効エネルギーとする。
　該当するエネルギーがない場合は，補間法によって求める。

(6)　空気カーマから1 cm深さにおける**ICRU**スラブ球線量当量への換算係数である。

(7)　^{137}Cs γ線のエネルギーである。

(8)　^{60}Co γ線の等価換算係数に対応するエネルギーである。

参考　この表は，**ICRP Publ.74**によった。

附属書 1 付表 2　70 μm 線量当量換算係数（個人にかかわる 70 μm 線量当量）

X 線及び γ 線のエネルギー(5) MeV	空気カーマから 70 μm 線量当量への換算係数(9) Sv/Gy
0.005	0.750
0.010	0.947
0.015	0.981
0.020	1.045
0.025	1.130
0.030	1.230
0.040	1.444
0.045	1.546
0.050	1.632
0.060	1.716
0.080	1.732
0.10	1.669
0.15	1.518
0.20	1.432
0.30	1.336
0.40	1.280
0.50	1.244
0.60	1.220
0.66(7)	1.209
0.80	1.189
1.0	1.173

注(5)及び(7)は，**附属書 1 付表 1** の注参照。
(9) 空気カーマから 70 μm の深さにおける **ICRU** スラブ線量当量への換算係数である。

参考　この表は，**ICRP Publ.74** によった。

附属書 2（規定）実用測定器の確認校正

1. 適用範囲 この附属書は，実用測定器の確認校正の方法について規定する。確認校正は，測定器の性能が継続して維持され，その測定器を用いた測定目的のために十分に正確であることを検証し，確認するために行うものであって，その測定器に対して新たに校正定数を規定するものではない。

2. 確認校正の体系 校正の体系は，本体の **4.**によるほか，次による。

a) 確認校正は，校正定数が確定した実用測定器について定期的に，及び必要に応じて行う。

b) 確認校正は，実用測定器に対して，実用γ線源及び照射条件を定めることによって，実施することができる。

c) 確認校正を実施し，この**附属書**の **4.**に規定する条件によって校正定数の変化がないことが確認された実用測定器について，引き続きその校正定数を使用することができる。ただし，この条件を満たさない場合，本体に基づいて新たな校正定数を定める。

備考1. 確認校正の頻度は，測定器の性能，用途，使用条件などによって使用者が個別に定めてよいが，最低年 1 回以上が望ましい。

2. 確認校正に用いる線源は，線量率基準の有無を問わないが，被校正測定器の校正定数の妥当性を十分に検証できる強度をもつものが望ましい。この場合，レンジ内の最大目盛の 30 %以上，ディジタル目盛の場合にあっては下から 2 けた目の数字が 3 以上であることが望ましい。また，使用する測定器が複数の測定レンジをもつ場合においても，確認校正は少なくとも一測定レンジの単一の測定点だけで行えばよい。

3. 方法 確認校正は，校正定数が確定した実用測定器について，その供用開始から一定期間後の指示値を，同一条件で照射した使用開始時の指示値（以下，初期指示値）と比較することによって行う。照射は，あらかじめ定めた実用γ線源と照射条件とを用いて行い，得られた指示値と初期指示値との比を求める。校正時の指示値と初期指示値との比を求める際には，線源の半減期補正を行う。

a) 確認校正を行う際には，初期指示値を求めた際の使用線源，照射条件などを記載した校正記録が保管され，継続して確認できるよう維持されていなければならない。初期指示値は，校正定数が確定した後，又は定置式の測定器にあっては使用場所に設置した後，すみやかに求める。

b) 確認校正に使用するγ線源は，^{137}Cs 又は ^{60}Co のいずれかとし，安定で堅ろうな形状及び構造をもつ密封線源でなければならない。また，測定器の使用期間を通して同一の線源を用いる。 ただし，やむを得ず交換する場合には **f)**の方法によるものとする。

備考1. 測定器によって，^{226}Ra，^{241}Am 又は ^{90}Sr-^{90}Y 線源を使用してもよい。

2. 測定器にあらかじめ検査用線源が内蔵されている場合，その線源を用いてもよい。

c) 確認校正時の測定器及び線源の幾何学的配置条件は，初期指示値を求めた場合と同一の配置とする。

備考 幾何学的配置条件は，測定器ごとに定めた専用のジグを使用して設定することが望ましい。

d) 確認校正は，測定器の外観検査，検出器及び計測部全般にわたり製造業者が指定する機能検査（点検）を実施し，機能上の問題がないことを確認した上で行う。

e) 通常の測定時において，指示値として複数回の測定から得られた読み値の平均値を用いる場合には，

確認校正時においても同等回数の測定を実施して指示値を求める。

f) 確認校正に使用する線源又は照射条件を変更する場合には，本体に規定する方法によって，校正定数を再度決定する。ただし，被校正測定器を用いてあらかじめ変更前の線源及び照射条件と変更後の線源及び照射条件の比較試験を実施し，両者に対する指示値の関係を十分な精度（変動係数 0.05 以内とする）で求め，初期指示値からの継続性が維持されていることが証明できる場合には，引き続き確認校正を実施してもよい。

4.　性能の判定　確認校正において，校正定数に変化がないと容認される範囲は，この**附属書**の **3.**に示す方法によって得られた確認校正時の指示値と初期指示値との比について 1±0.1 の範囲とする。

5.　確認校正の記録　確認校正を実施した結果は記録用紙に記入し，その内容は，次による。

a) 被校正測定器の名称，形式，製造番号，校正実施年月日，校正者及び校正定数。必要に応じて校正時の記録（原校正記録）を添付する。

b) 初期指示値を得たときの記録は，初期指示値，初期指示値確定時の照射条件，使用した線源（核種及び線源番号），実施年月日，実施者及び環境条件とする。

c) 確認校正実施時の記録は，指示値及び判定結果のほか，照射条件，線源（核種及び線源番号），確認校正実施年月日，確認校正実施者，判断基準及び環境条件とする。

JIS Z 4511：2005

照射線量測定器，空気カーマ測定器，空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法 解説

この解説は，本体及び附属書に規定した事柄，並びにこれらに関連した事柄を説明するもので，規格の一部ではない。

この解説は，財団法人日本規格協会が編集・発行するものであり，この解説に関する問合せは，財団法人日本規格協会へお願いします。

I． 旧規格は，**JIS Z 4511**：1999（照射線量測定器及び線量当量測定器の校正方法）及び **JIS Z 4511**：2001（追補）がある。一方，**ISO 4037-1**：1996 及び **ISO 4037-3**：1999 がそれぞれ発行されている。また，**ICRP** 1990 年勧告によって 2001 年 4 月から放射線障害防止関連法令等（以下，障防法等という。）が改正施行された。

そこでこの規格は，**ISO** 規格を引用規格として採用し，空気カーマと線量当量換算係数とを使用するときの校正場の条件を明確にすること，実用測定器の確認校正を新たに規格化するなど技術的な部分を含め全面的な見直しを実施した。また，2001 年から計量法の改正施行によって階層化が図られているので併せて改正を行った。

このため，この規格の名称を"照射線量測定器，空気カーマ測定器，空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法"に変更した。

II．改正の経緯　我が国では，1970 年代に導入されたトレーサビリティの思想を背景に，照射線量（率）測定器を対象として，標準移行体系とこれにかかわる基準測定器，照射線量の性能，校正方法などの標準化が行われ，1975 年 7 月に"照射線量測定器及び照射線量率測定器の校正方法"に関する規格を **JIS Z 4511** として制定した。その後，原子力発電所及び放射線取扱事業所の増加に伴い校正機関も設立され，放射線防護の分野で測定器の信頼性向上のためこの規格は有効に活用されるようになった。このような経過の中で，トレーサビリティの終着点を放射線防護のための実用測定器と位置付け，校正方法は，標準移行を対象とする基準校正と実用測定器を対象とする実用校正とに区分し，校正目的と手法を明確化することが求められるようになった。そこで，この要求を考慮し 1987 年に **JIS Z 4511** は大幅に見直しされた。

1988 年 4 月に"放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法令"が改正され翌年施行された。この改正では，実効線量当量を安全側に評価する線量として **ICRU** 球の 1 cm 線量当量が採用されたので，光子 1 cm 線量当量測定器の開発が進められ，市販されるようになった。そこで，校正方法をこれに対応させるため，国際放射線単位委員会報告書 39，43（以下，**ICRU Report 39** 及び **43** という。），国際放射線防護委員会報告書 51（以下，**ICRP Publ.51** という。）などを参考にこの規格の改正が 1991 年に行われた。

1992 年 5 月に計量法（法律第五十一号）が改正され，トレーサビリティ制度が制定されたので，トレーサビリティ制度とこの規格との整合性を図ることを目的とし 1999 年にこの規格の改正を行っている。

さらに，2001 年 4 月に **ICRP** ‘90 年勧告(**Publ.60**)を取り入れた障防法等の改正施行に伴い，この規格についても 2001 年 3 月に 1 cm 線量当量換算係数の変更を中心とした“**追補 1**”の発行によって **JIS Z 4511**：1999 が補完された形となっていた。

今回の改正は，現行規格の“**追補 1**”を本体に組み入れて完成させる作業，用語の定義，計量法，**ISO** 規格の引用規格への取り込み及び確認校正の新規追加を含め見直しを実施し，全面的な改正となった。

III．審議中に特に問題となった事項

1.　適用範囲のエネルギー及び線量当量換算係数について　この規格の適用範囲では，エネルギー範囲を 10 keV～3 MeV と規定しているが線量当量換算係数は，**ICRP** 等の表を引用した関係上 3 MeV 以上の換算係数もそのまま転載した。この規格に記載した 3 MeV 以上の線量当量換算係数は参考値である。また，70 μm 線量当量についても 30 keV 以上の線量換算係数は，次の理由によってこの規格の参考値である。

2.　70 μm 線量当量及び 1 cm 線量当量について　1999 年（平成 11 年）4 月の放射線審議会基本部会報告書“外部被ばく及び内部被ばくの評価法にかかる技術指針”では，場所の測定にかかわる項で“70 μm 線量当量率が 1 cm 線量当量率の 10 倍を超えるおそれのある場所で限定的に測定の義務を課す”と述べている。この条件を満たす 70 μm 線量当量率の光子エネルギーは 30 keV 以下（10 倍の差は 15 keV 以下）である。このような低エネルギー光子は，電離箱サーベイメータ附属のビルドアップキャップを開くか又は外し，薄窓状態で測定する。校正は，低エネルギーX 線及び 70 μm 線量当量換算係数を用いて行う。

30 keV 以上の光子を測定するときは，ビルドアップキャップを閉じるか又は装着して，1 cm 線量当量率を測定する。このように従来から技術指針を満足するように実用電離箱サーベイメータが製作され市販されている。したがって，Cs，Co などの高エネルギー光子を 70 μm 線量当量率で測定する必要はない。また，測定器製造業者は，実用線量当量率測定器の性能保証範囲でおおむね測定器自体で二次電子平衡が取れるように設計している。

以上に加え，技術指針では個人の外部被ばくにかかわる測定の項で“主として，1 cm 線量当量の測定を行うことが適当である。70 μm 線量当量は，β 線及び低エネルギー光子による局所的な皮膚の被ばくなどに限定された状況でだけ問題となることから，外部被ばくと同様，70 μm 線量当量率が 1 cm 線量当量率の 10 倍を超えるおそれがあるときにだけ測定の義務を課す”としている。したがって，個人線量測定器についても上記の場所にかかわる測定と同様である。以上の理由によってこの規格の改正に当たっては，我が国の法令改正の基礎である技術指針に準拠するとともに市販のサーベイメータの特性との整合性を図り，70 μm 線量当量率測定用に設計されたサーベイメータは光子エネルギー30 keV 以下で，また，1 cm 線量当量率測定器は 30 keV 以上で校正されているとし，現行どおりとした。

なお，光子エネルギーが 30 keV 以上で特別に 70 μm 線量当量の評価が求められる場合には，70 μm 及び 1 cm 線量当量はおおむね等価であるので，合理的・経済的に個人線量管理を実施するため 1 cm 線量当量測定値で 70 μm 線量当量を代表する。^{32}P などの β 線にかかわる校正はこの規格の適用範囲外である。

3.　校正場の二次電子平衡について　この規格の適用範囲外であるが何らかの目的で，構造的に二次電子の影響を受けやすい 70 μm 線量当量率用電離箱サーベイメータ及び 70 μm 線量当量個人線量計を Co などの γ 線で校正する場合若しくは 1 cm 線量当量率用測定器を高エネルギー γ 線で校正する場合には，二次電子平衡を考慮し **ISO 4037-3**：1999 を参考に測定器と線源との間にビルドアップついたてを設置して校正できる。ただし，この校正値は参考値であり，このような校正を行った校正場と現場の状況とが相違するの

で，このことが分かるようにビルドアップついたての厚さ及び校正条件をサーベイメータ使用者に図（ビルドアップついたてを設けた図）で示し注意を喚起する必要がある。

4. 校正場の汚染電子と散乱線 校正場の汚染電子は，線源，照射装置のコリメータなどから発生する。電離箱サーベイメータのビルドアップキャップを外し，コリメータに接近して校正するときには汚染電子の影響が数%現れることがある。Cs 及び Co 照射装置から 3 m 以上離れて校正する場合は，この影響は無視できる。測定原理が異なり，金属壁をもつ GM サーベイメータ及びシンチレーションサーベイメータは，この影響はない。ただし，GM サーベイメータに付属している β 線測定用キャップは閉じて γ 線を測定する。汚染電子の影響が現れる場合は，照射装置のコリメータ出口にプラスチック遮へい板を設け，汚染電子を遮へいする。一般的には汚染電子の影響よりも被校正測定器の校正台への設置方法による散乱線の影響が大きくこれに注意すべきである。

5. 確認校正 我が国では，現在，放射性同位元素及び放射線発生装置を利用する事業所が全国で約 5 000 か所ある。これらの事業所は，法令に基づき指定された場所の線量当量率を放射線サーベイメータで測定を行っている。測定器は，国家標準につながる本体 **4.**“校正の体系”に基づきトレーサビリティを保ち校正されているが，現状では，初回の校正後，費用，校正日数などの関係で数年間校正されずに使用されている。そこで，これらの測定器による測定の信頼性を確保するため新規に確認校正を規定した。

6. 実用 γ 線源（実用基準 γ 線源，確認校正用 γ 線源など） 従来，この規格において規定される線源法によって測定器の校正が実施される際に，γ 線源そのものが校正用基準として使用できるのは，特定二次標準器で基準線量率が値付けされた“基準 γ 線源”だけであった。基準 γ 線源の値付けがなされる位置としては，線源から 1 m の点がほとんどであり，これに逆 2 乗法を組み合わせても校正ができる範囲はせいぜい基準線量率よりファクタ 4 程度（逆 2 乗法の許容範囲として±50 cm を仮定）となる。また，大きい寸法の測定器及びファントムを使うような照射には不向きであった。つまり，測定範囲や寸法の異なる多くの測定器の校正において線源法を一般的に利用することができる範囲は，極めて限られていたということができる。したがって，このような場合には，専ら線源を特定しない置換法が用いられることになる。実際問題として，γ 線照射装置，実用 γ 線照射装置などを使用する場合には，照射場の再現性が優れていることを前提とするが，特定二次標準器及び基準測定器によって一度得られた基準線量率の値をそのまま長期にわたって半減期補正だけで使用することが少なくなかった。また，通常の γ 線源の場合でも，照射距離などの再現性が確保できる場合には，既にその線源に対して得られた特定の距離位置における基準線量率値をそのまま用いた校正が行われていた。

これまでは，これらについては広い意味での置換法の一部と見なすこととされてきたが，本来の意味での置換法とはいえず，むしろ“線源法”そのものであることは明らかであった。このため，今回の改正においては，**1)**特定二次標準器で値付けられた γ 線照射装置を単独で用いる場合，あらゆる照射位置に関してこれを“基準 γ 線源”の一種と見なせること，**2)**基準測定器によって値付けされた基準線量率の使用を実用 γ 線照射装置以外の単独の γ 線源にまで拡大し，これを“実用基準 γ 線源”とすること，また，その場合に実用 γ 線照射装置は，この実用基準 γ 線源の一種と見なすこと，を明確にした。

これによって，安定した γ 線源（又は再現性に優れた照射装置）があれば，基準測定器によって実用線量率基準を独自に設定し，その γ 線源を実用基準 γ 線源として利用できることになった。さらには，一度，基準線量率の値付けをすれば，基準測定器を常時保有していなくても，一定期間は線源法によって γ 線照

射装置及びγ線源の任意の距離における基準線量率の値を用いることができ，便宜性が増すとともに測定器の使用者が独自に測定器校正を行う可能性が拡大したといえる。また，使用者が独自に実施することが可能な測定器の品質管理の方法の一つとして新たに導入した“確認校正”に関し，そのために用いるγ線源を“実用γ線源”として校正の体系に加えることとした。実用γ線源としては，多くの場合，3.7 MBq未満のチェッキング線源が使用されると思われるが，放射能値の大きい実用基準γ線源などであっても差し支えない。ただし，確認校正時にその基準値を使用することはない。一方，この意味から線源の実用上の安定性に問題がない限り，例えば，放射能（又は放出率）基準などをもつγ線源をこの確認校正用の実用γ線源又は基準測定器によって値付けして実用基準γ線源として使用することも可能であるが，決して放射能基準そのものを用いることはないことを明確に理解しておく必要がある。

IV. 各項目に対する補足説明

1. 適用範囲 計量法にかかわる特定標準器及び特定二次標準器を用いた校正は，この規格から除外した。

2. 引用規格 2000 年の **JIS Z 8301**（規格票の様式）改正に伴い，備考として示した引用規格も項目として挙げ，また，**ISO 4037-1** 及び **ISO 4037-3** も引用規格に追加した。

3. 定義（ICRU 球線量当量について） **ICRU** 球にかかわる線量当量は，球の各々の深さで異なるので，深さを指定することによって多くの測定対象線量を定義することができる。そこで，深さに対応する線量当量の名称の煩雑さを避けるため，これらを一括して **ICRU** 球線量当量（率）と呼ぶこととした。

計量法で使用される用語及び空気カーマの校正にかかわる用語を追加した。

4. 校正の体系 照射線量測定器及び線量当量測定器を校正の対象とした。これに加え，空気吸収線量測定器の校正について体系図で参考として示した。この規格では，照射線量が明確な物理量として測定可能なこと及び国家標準の供給が照射線量によって行われることから，基準校正におけるトレーサビリティの移行は照射線量（率）を基準にして行うものとした。さらに，線量当量測定器の校正は基本的には照射線量（率）基準の校正場で行うものとした。この考え方に基づき，国家標準から照射線量（率）基準及び **ICRU** 球線量当量（率）基準を経て実用測定器に至る校正の体系を，基準校正及び実用校正に区分して本体の**図 1** に示した。

計量法によって一次照射線量（率）基準は，特定標準器を用いて設定され，二次照射線量（率）基準は特定二次標準器によって設定される。

実用照射線量（率）基準は，二次照射線量（率）基準によって校正された照射線量の基準測定器又は実用照射装置を用いて設定される。

照射線量実用測定器の校正は，実用照射線量（率）基準又は二次照射線量（率）基準のいずれかを用いて行うことができる。

線量当量実用測定器の校正は，照射線量（率）基準に線量当量換算係数を乗じて求めた **ICRU** 球線量当量（率）基準によって校正される。

5. 校正の不確かさの求め方 測定における不確かさの評価に関して，1993 年に，**BIPM**（国際度量衡局），**IEC**（国際電気標準会議），**OIML**（国際法定計量機関）などの 7 機関の共同編集による国際文書(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)が発行された。このガイドは，**ISO**（国際標準化機構）の技術諮問

グループ(**TAG 4**)から提出されたので，**GUM** と呼ばれており，国際的にこのガイドに記述された方法に統一されつつある。計量法のトレーサビリティ制度でも，このガイドの採用が要請されている。

このガイドでは，統計的に求めることができる不確かさの成分をタイプ A，それ以外の成分をタイプ B と分類している。しかし，この分類は便宜的なもので特別な意味はない。

GUM による不確かさ表示の概要を次に示す。

a) 測定量（この規格では校正定数）を式で表す。この式には各種の補正係数も含める。

この式をもとにして，各成分の標準不確かさ(Standard Uncertainty)U_i を求める。

b) 測定量の合成標準不確かさ(Combined Standard Uncertainty)U_c を，測定量の各成分が互いに独立とみなせる場合，標準不確かさ U_i の 2 乗和の平方根で求める。

$$U_c = \left(\Sigma U_i^2\right)^{1/2}$$

c) 成績書などに記載する不確かさは，拡張不確かさ(Expanded Uncertainty)とする。

拡張不確かさ U は，包含係数(Coverage Factor)k＝2，又は 3 を用い，次の式で表す。

$$U = kU_c$$

通常は，信頼係数が 95 %に相当する k＝2 を使用する。

この規格でも成績書に記載する不確かさは，信頼係数が 95 %に相当するものとしたので k＝2 を採用することになる。

なお，**GUM** による標準不確かさの求め方は次のとおりである。

タイプ A：同じ量の繰返し測定による平均値の標準偏差。

タイプ B：各種の情報，測定値などから標準不確かさを推定して求める。

タイプ B の場合の標準不確かさの求め方の概要は，

① 着目する量 X_i の起こり得る確率密度分布 P_x の形状を種々の情報，測定値などから推定する。

② P_x の形状として対称的な台形分布が想定できる場合，

X_i の変動幅を±a とおくと，台形の底辺の幅は $2a$，上辺の幅は $2a\beta$ となる。

ただし，$0 \leqq \beta \leqq 1$ で，β=0 の場合は三角形分布，β＝1 の場合はく（矩）形分布となる。

標準不確かさ U_x は，

$$U_x = a\left[\left(1+\beta^2\right)/6\right]^{1/2}$$

となる。三角形分布の場合は $U_x = a/\sqrt{6}$，く（矩）形分布の場合は $U_x = a/\sqrt{3}$ である。

③ P_x の形状として正規分布が想定できる場合，X_i が幅±b の範囲で起こり得る割合が約 50 %と想定される場合は，

$$U_x = 1.5b$$

同様に±b の範囲で起こり得る割合が約 68 %と想定される場合は，

$$U_x = b$$

によって求める。

d) 測定量 Y を着目する量 X_i から求める $\{Y = f(X_i)\}$ の場合は，Y の標準不確かさ U_y は X_i の標準不確かさを U_x とおくと，次の式で求める。

$$U_y = c\,U_x$$

c は感度係数で，$c \equiv \partial f/\partial X$

例えば，γ 線源から検出器中心までの距離が 1 m において，距離の不確かさが最大幅で±1 cm と推定され，±0.5 cm の範囲に設定される確率が一様であるものと想定される場合は，検出器が設定される距離の確率密度分布は，β＝0.5 の台形分布で近似できる。

設定距離 X_i の変動幅が±1 cm であるので a=1 cm となる。したがって，距離の標準不確かさ U_x は $\left[\left(1+0.5^2\right)/6\right]^{1/2}=0.46(\mathrm{cm})$ となる。線量率は距離の逆 2 乗で変化するので，感度係数 c は，c=2 となる。

したがって，線量率計の校正における距離設定による相対標準不確かさ U_{yi} は，c=2 とおき，

$$U_{yi}=2(0.46/100)=0.009\,2$$

となる。百分率で表すと 0.92 %であるが，不確かさは四捨五入ではなく切り上げて表示する慣習であるので，2 けた表示の場合は 1.0(%)となる。

成績書に記載する校正定数の不確かさ U は，これらの不確かさの成分 U_{yi} の 2 乗和を加算して平方根を求め，これに包含係数 k=2 を乗じて次の式で求めたものを使用する。

$$U=2\left(U_{y1}{}^2+U_{y2}{}^2+U_{y3}{}^2+\cdots\right)^{1/2}$$

6. 校正の不確かさ

6.1 基準校正の不確かさ 基準校正としては，本体の**図 1**（校正の体系図）によって 3 種類のルートを想定している。

① 一次照射線量（率）基準（国家標準又は指定校正機関）を設定した場によって，特定二次標準器を校正する方法。

② 二次照射線量（率）基準（認定事業者など）を設定した場によって，基準測定器を校正する方法。

③ 実用照射線量（率）基準（現場の校正設備）を設定した場によって，実用基準測定器を校正する方法。

トレーサビリティ制度における線量の国家標準は，特定標準器によって指定校正機関が維持する。

①の特定標準器を用いて特定二次標準器を校正するときの不確かさ(U_0)は，国家標準器の性能，標準場の環境・測定条件，特定二次標準器の性能及び照射装置の性能が合算されて±3 %と見積もられている。

特定二次標準器によって二次照射線量（率）基準を値付けするときの不確かさ(U)は，特定二次標準器の不確かさ(U_0)に校正場の環境・測定条件(U_1)及び照射装置の性能(U_2)の不確かさを本体 **5.**の方法によって合算して算出する。(U_1)は，温度・気圧の器差，指示値の読取り不確かさなどである。(U_2)は，照射野の均一性，シャッタ開閉時間，安定性及び線質の変化（散乱線の寄与率で変化する）が代表的である。

②の二次照射線量（率）基準を設定した校正場で基準測定器を校正する場合の不確かさは，①の U の不確かさ(U_0，U_1，U_2)に置換法による校正の不確かさ(U_3)及び基準測定器の性能(U_4)を合算して算出する。

上記，③の Cs-137 又は Co-60 の γ 線エネルギーによって実用照射線量（率）基準を設定した校正場で実用基準測定器を校正する場合の不確かさは，②の不確かさ(U_0，U_1，U_2，U_3 及び U_4)に実用基準測定器の変動係数±3 %(U_5)を合算して算出する。

各ルートによって校正を実施した場合の最大の不確かさについて計算例を次に示す。

なお，計算式の数値の下の ***a***～***g*** は，次の事項に対応する不確かさ又は誤差を示す。

a 特定二次標準器(U_0)＝±3.0 %

b 二次照射線量（率）基準(U)＝±4.9 %（U_0，U_1，U_2 の 2 乗和）の平方根

c 環境・測定条件(U_1)＝±1.1 % ［0.3^2（温度）+0.4^2（気圧）+1^2（読取り）］の平方根

d 照射装置の性能(U_2)＝±3.7 % ［3^2（均一性）+1^2（シャッタ）+2^2（安定性）+0.2^2（線質）］の平方根

e 置換法の校正(U_3)＝±0.3 % ［0.2^2（位置設定）+0.2^2（校正ジグの散乱寄与）］の平方根

f 基準測定器性能(U_4)＝±2.3 % ［1^2（エネルギー）+1^2（方向）+1^2（再現性）+1^2（ステム）+0.5^2（直線性）+0.5^2（線量率）+1^2（本体の温度）］の平方根

g 実用基準測定器性能(U_5)＝±3.0 %

①の場合　　±3 %

②の場合　　$\sqrt{\underset{a}{3^2}+\underset{c}{1.1^2}+\underset{d}{3.7^2}+\underset{e}{0.3^2}+\underset{f}{2.3^2}}=\pm 5.4\ \%$

③の場合　　$\sqrt{\underset{a}{3^2}+\underset{c}{1.1^2}+\underset{d}{3.7^2}+\underset{e}{0.3^2}+\underset{f}{2.3^2}+\underset{g}{3^2}}=\pm 6.2\ \%$

上記結果に基づいて，②の不確かさを±5 %とし，③の不確かさを±6 %と規定した。

6.2　実用校正の不確かさ　実用校正としては，本体の**図 1** の校正体系図によって次のルートを想定している。

④　実用照射線量（率）基準を設定した場によって，照射線量実用測定器を校正する方法。

⑤　二次照射線量（率）基準を設定した場によって，照射線量実用測定器を校正する方法。

⑥　実用照射線量（率）基準に，線量当量換算係数を乗じて **ICRU** 球線量当量（率）基準を設定した場によって，線量当量実用測定器を校正する方法。

⑦　二次照射線量（率）基準に，線量当量換算係数を乗じて **ICRU** 球線量当量（率）基準を設定した場によって，線量当量実用測定器を校正する方法。

⑧　線量当量実用基準測定器によって **ICRU** 球線量当量（率）が値付けされた実用照射装置を用いて校正する方法。

線量当量実用測定器の校正では，照射線量（率）基準に線量当量換算係数を乗じて **ICRU** 球線量当量（率）を求める場合の誤差は考慮しないため，校正の不確かさについては照射線量実用測定器の場合と同じと考えた。

実用測定器を，トレーサビリティ制度の考え方に従って校正しようとすると，本体の**表 1** に示すような測定器の性能を再評価しなければならないことになる。しかし，各実用測定器は製作する時点で，**JIS** に基づき形式検査を行い，性能を明らかにして，これを受渡検査及び取扱説明書に明示している。したがって，このような実用測定器は校正のために，本体の**表 1** のような測定器の性能を再度評価する必要はない。実用校正は，現場で使用する測定器の性能維持を目的とする校正であり，決められた放射線エネルギーで各レンジを 1 点ずつ定期的に校正を実施することに意味がある。このことから，実用測定器校正における被校正測定器の誤差は校正時の指示変動がすべてであり，この誤差を見積もることで十分である。

代表的な実用測定器の指示変動は，各製造業者の測定器又はその測定レンジの時定数によって異なるが，GM サーベイメータで 5～15 %，電離箱サーベイメータで 5～10 %である。これらの誤差の最大値は 15 %であると考えてよい。

したがって，④，⑥の校正の不確かさは，逆 2 乗法で行う場合は，②の不確かさに実用測定器の指示変動誤差(U_6)，逆 2 乗法による校正場の誤差(U_7)を合算して算出する。また，置換法で行う場合は，②の不確かさに U_3，U_6 を合算して算出する。

⑤，⑦の校正の不確かさは，逆 2 乗法で行う場合は，二次照射線量（率）基準の不確かさ（U），実用測定器の指示変動誤差(U_6)及び逆 2 乗法による校正場の誤差(U_7)を合算して算出する。また，置換法で行う場合は，二次照射線量(率)基準の不確かさ(U)，置換法の校正の不確かさ(U_3)及び実用測定器の指示変動誤差(U_6)を合算して算出する。

⑧の校正の不確かさは，②の不確かさに実用測定器の指示変動誤差(U_6)，実用基準測定器及び実用照射装置の変動係数(U_8)±5 %を合算して算出する。

各ルートによって校正を実施した場合の最大不確かさの計算例を以下に示す。

なお，計算式の数値の下に示す **h～j** は，下記の事項に対応する不確かさ又は誤差を示す。

h 実用測定器の指示変動誤差(U_6)＝±15 %

i 逆 2 乗法による誤差(U_7)＝± 3 %

j 実用基準測定器及び実用照射装置性能(U_8)＝±5 %

①，⑥の実用照射線量（率）基準を用いる場合

－ 置換法の場合 $\sqrt{\underset{②}{5.4^2}+\underset{h}{15^2}+\underset{e}{0.3^2}}=\pm15.9$ %

－ 逆 2 乗法の場合 $\sqrt{\underset{②}{5.4^2}+\underset{h}{15^2}+\underset{i}{3^2}}=\pm16.2$ %

⑤，⑦の二次照射線量（率）基準を用いる場合

－ 置換法の場合 $\sqrt{\underset{b}{4.9^2}+\underset{h}{15^2}+\underset{e}{0.3^2}}=\pm15.8$ %

－ 逆 2 乗法の場合 $\sqrt{\underset{b}{4.9^2}+\underset{h}{15^2}+\underset{i}{3^2}}=\pm16.1$ %

⑧の実用照射装置を用いる場合 $\sqrt{\underset{②}{5.4^2}+\underset{h}{15^2}+\underset{i}{5^2}}=\pm16.7$ %

上記結果に基づいて，実用校正の不確かさを±20 %に規定した。

7. 基準器及び照射装置

7.1 基準測定器 一次照射線量基準と二次照射線量基準は，それぞれ特定標準器及び特定二次標準器によって設定される。特定標準器及び特定二次標準器は，計量法トレーサビリティ制度に基づくものであるが，旧 **JIS**(**JIS Z 4511**:1991)の一次基準測定器及び二次基準測定器に対応する。また，トレーサビリティ体系としては，二次照射線量基準によって校正された基準測定器が加えられ，実用基準測定器とともに実用照射線量基準を構成する。特定標準器，特定二次標準器はトレーサビリティ制度の範ちゅうであって，トレーサビリティ制度によって規制される。基準測定器の性能は，本体 **6.**に示す校正の不確かさを担保できるように規定され，本体の**表 1**（基準測定器の性能）に示されている。

基準測定器としては，電離箱式が照射線量に対し，原理的にエネルギー特性が優れていることから電離箱式を基準測定器として使用することとしている。

本体の**表 1** において，検出器の使用エネルギー範囲を三段階に分類しているのは，基準測定器の構造が各々のエネルギー範囲で異なるためである。これはＸ又はγ線のエネルギーの大小によって，電離箱の壁（又は窓）の厚さを変える必要があるためである。一般に 30 keV 未満のエネルギー範囲では薄膜の入射窓を設けた電離箱が使われている。30～300 keV の範囲では壁厚の薄い指頭形又は球形電離箱が使われている。0.3～3 MeV の範囲では前者の電離箱にビルドアップキャップを装着して使用される。また，基準電離箱の電離電流計測にはコンデンサを用いた積分形の電離電荷測定系が一般に使用される。

次に，基準測定器の性能項目について補足説明をする。

a) レスポンスの再現性 同一照射条件でＸ線，γ線を照射した場合のレスポンスの再現性は，電離箱絶縁体の照射効果によってレスポンスの照射時間依存性を生じたり，電離箱通気孔部の（又は気密性）構造によって電離箱内外の空気密度が異なる結果，レスポンスが日変化を起こす場合などがあり，結果的に校正定数が経時変動を起こすことになる。

b) 方向特性 電離箱では，照射方向依存性をもつために生じる校正定数の変化は，基準測定器をＸ又はγ線ビーム軸上に設定する場合，電離箱の照射中心軸とビーム軸との開き角を±2 度程度で合致させることは可能である。この設定幅内での校正定数の照射角度依存性が小さいことが基準測定器の条件

の一つである。

電離箱の壁面又は中心電極が照射ビーム軸と平行になる構造の場合は,微小角度の方向依存性を一般に示すことになり，また，線源との距離に依存して校正定数が変化する傾向にある。

c) 線量率特性 照射線量測定器の線量率依存性は，照射線量率が小さいときはバックグラウンド電流などの雑音成分の割合が大きいため，また，照射線量率が大きいときは，イオン再結合損失による信号成分の減少のため，電離箱の校正定数は線量率に依存して変化する。校正に使用する線量率範囲に対応し，適切な電離箱容積の基準測定器を選定することが必要である。

d) ステム効果 電離箱支持部(ステム)の照射効果は，電離箱の支持部，信号ケーブルとの接続部，検出器と合体した前置増幅器部などを照射すると，信号電流が漏えい（洩）したり，副電離箱として作用したり，また，散乱線効果で増感したりする。したがって，照射野寸法と電離箱支持部構造とに，この効果は依存する。

e) 目盛の直線性 基準測定器の大部分がディジタル目盛を採用しているので，増幅器の直線性はこの特性に依存し，良好である。アナログ目盛の場合も，記録計用の出力端子を設置しているので，ディジタル電圧計を使用すれば直線性は一般に良好である。

7.2 実用基準測定器 実用校正の場合，校正装置又は照射条件は種々である。このため実用基準測定器には，実用照射装置，照射条件の多様さに対応できるように，基準測定器のほか，同一形式の検出部をもつ測定器を実用基準測定器とし，実用校正ができるようにした。校正の基準として基準測定器であるといかなる形式の実用測定器も校正できるが，同一形式の実用測定器を実用基準測定器とした場合，その形式の実用測定器だけを校正できる。

実用基準測定器の場合，性能は測定器指示値の変動係数で示され，本体の **6.2** に示される性能を担保する観点から，本体 **7.2b)**に示される数値となっている。

7.3 照射装置，その他校正に必要な器具の性能 照射装置及びその他校正に必要な器具の性能は，本体 **6.**に示す校正の不確かさを担保する観点から性能を規定した。

本体 **7.3a)**及び **7.3b)**の照射装置再現性確認について，基準測定器又は実用基準測定器を組み合わせて確認する場合，再現性はそれぞれ測定器の再現性（指示値の変動係数）内とする。

8. 基準校正

8.1 校正方法

8.1.1 実用基準測定器又は実用基準γ線源 計量法のトレーサビリティ制度に基づき，基準測定器は特定二次標準器と照射装置によって校正されていることとした。また，基準γ線源の照射線量率の決定は，散乱線の影響を低減するためシャドコーン法によって行われているものとした。

実用基準測定器は基準測定器を用いて校正し，実用基準γ線源は基準測定器を用いて線量率の値付けを行うこととした。

8.2 基準校正の校正範囲

8.2.1 実用基準測定器 本体の**表 1**（基準測定器の性能）に示される性能を満たすものとし，基準測定器の校正範囲については**参考表 1** による。

8.3 基準校正の環境条件 本体の**表 4** に示した“基準校正の校正時の環境条件”中の気圧については，hPa を kPa に変更した。

a) **IEC** 規格の条件（85～106 kPa は，基準校正には緩やかすぎるので 95～103 kPa）とした。

b) 相対湿度について，本体の**表 4** 及び**表 6** の相対湿度に関する試験のための環境条件は，**JIS Z 8703**（試

験場所の標準状態）における標準状態の湿度は，相対湿度 50 %又は 65 %のいずれかであるが，この規格では 65 %が採用され，湿度の許容差±20 %（湿度 20 級）が採用されていた。

この湿度 20 級は，標準状態の相対湿度 65 %に対してだけ用い，45～85 %の湿度範囲を常湿としている。我が国には，欧米と異なる独特の気候風土がある。

特に冬場は極めて低湿度の作業環境が出現してしまい，加湿しないと常湿の範囲の下限を維持できない状態に陥ってしまうことが多々ある。

このような低湿度の作業環境下で測定器が使用されること，また，低湿度の校正環境下で校正した場合の校正定数とその不確かさと湿度下限（RH45 %）で校正した場合の校正定数とその不確かさに与える相対湿度の差の影響は，無視できるほど小さい。

このため，標準状態の相対湿度を 65 %とし，湿度 20 級，すなわち常湿の範囲（45～85 %）の上限値（85 %）以下とし，下限は設けないこととした。

c) バックグラウンドについては，本体の**表 4** 及び**表 6** の標準校正並びに実用校正の環境条件に関し，測定器を校正する領域において 0.22 μGy/h とした。改正前のバックグラウンド線量率は，6.45×10^{-9}C/(kg・h)=25 μR/h である。

今回の改正では空気カーマ率で表示することになるが，この照射線量から空気カーマへの換算係数は，8.76(mGy/R)×1/(1-*g*)である。ここで，この規格で扱うγ線源について格納状態などから漏えい線量率が大部分であれば，1/(1-g)≒1 と扱っても影響はない。したがって，1 として換算できる。

これを換算すると 0.219 μGy/h となるので，測定器を校正する領域で≦0.22 μGy/h とした。

8.4 基準校正の照射条件

8.4.1 実用基準測定器 実用基準測定器の照射条件については，本体の**表 5** によることとした。

9. 実用校正

9.1 実用校正（本体の表 6 について） 実用校正時の環境条件を本体の**表 6** に規定した。今回の改正では，実用校正時の環境条件のうち気圧を **IEC** の規格に合わせ 85～106 kPa とした。

実用校正は，一般に現場と直結した場で校正されており，基準校正を実施するために設備された温度，湿度，気圧などの制御管理機能をもつ施設とは，環境条件が異なり，基準校正の環境条件を実用校正に適用することをさけ，実用的なレベルでの規定を設けた。ただし，温度，気圧などに対する依存性が大きい実用測定器については，本体の**表 6** に示す環境条件下でも補正を行うことが望ましい。

実用校正に用いる実用照射装置として，鉛で遮へいした容器内の周囲に放射能が等しい棒状線源を対称に配置し，容器の中心に検出器を挿入する挿入孔を設け検出器部における線量率の空間分布の均一化を図った小形構造の簡易形γ線校正装置などが含まれる［南，清水，上沢：保健物理，19，329～333(1984)]。この場合，この簡易形γ線校正装置で校正が行える放射線測定器は，同一形式，同一仕様のものに限定される。さらに，放射線測定器の設置位置関係，変動係数などが一定の変動内であることを確認する必要がある。

10. 照射装置及び測定器の配置 基準校正及び**附属書 1**（**規定**）の **3.**に示す個人線量計のファントム校正を考慮し，照射装置，測定器の配置，照射条件などを規定した。照射装置から 2 m 程度離してファントム校正が実施でき，かつ，校正時における散乱線を低減化させるためコリメート形γ線照射装置のビーム広がり角度は，30°以下とした（ただし，40°のコリメータも現在使用されているので備考に記載した。)。X 線照射装置のビーム広がり角度は照射野の均一性を考慮して 15 度以下とした。

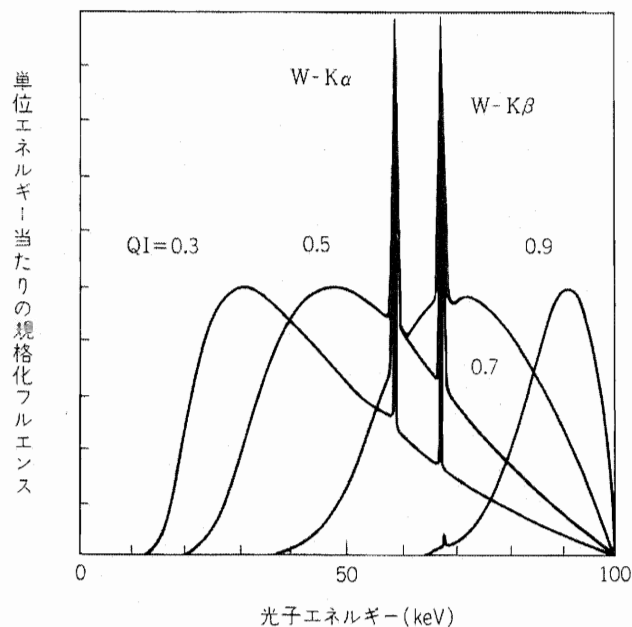
非コリメート形γ線の場合は，散乱線の影響が非常に大きいので散乱線低減化のため室の中央で，線源・測定器間距離を 2 m 以下に規制した。

なお，線源法の場合には,線源・測定器間距離を 2 m 以上とする場合にはシャドコーンを用い，散乱線を評価して差引きを行い，校正を実施しなければならない。

11. X 線の線質 X 線による標準測定器の校正は，一般に脈動率 10 %以下の電圧で発生させた連続分布 X 線を用いて行われる。この X 線の線質は，放射線防護用計測においては，実効エネルギーで表示される。しかし，ろ過条件の異なる種々の X 線に対し，実効エネルギーが同一になる条件が存在するので，このほかに複数個のパラメータを併記するとより明確に線質が規定できる。

線質を表すパラメータには，実効エネルギーのほかに管電圧，半価層，均等度，線質指標，平均エネルギーなどがある。

独立行政法人産業技術総合研究所における標準測定器の校正結果の表示では，実効エネルギー，管電圧及び第一半価層の 3 種類が記載されている。現在，放射線防護用測定器のエネルギー特性試験は，主として線質 0.7 シリーズを用いて行われているが，他の線質についても再設定が進められている。

管電圧が 100 keV で，線質指標が 0.3, 0.5, 0.7 及び 0.9 の場合の光子スペクトル形状を**解説図 1** に示す。一般に，診断レベルでは線質指標の値が小さなものが，環境レベルでは大きなものが使用されている。

管電圧：100 kV，線質指数（*QI*）＝0.3，0.5，0.7 及び 0.9。
（*QI*）＝0.5，0.7 及び 0.9 の各シリーズのスペクトルは，**ISO 4037** の高線量率，広スペクトル及び低線量率シリーズのスペクトルの形状と各々同等である。

解説図 1 線質指標及び X 線スペクトルの形状

なお，単色光子の場合は線質指標が 1 に相当する。医用 X 線分野での線質表示は，管電圧，第一半価層及び均等度を主として用いてきた。実効エネルギーは半価層から計算で求めるもので，半価層測定用フィルタの材質に依存して同一ビーム条件でも，多少異なるエネルギー値となる。したがって，半価層で表す

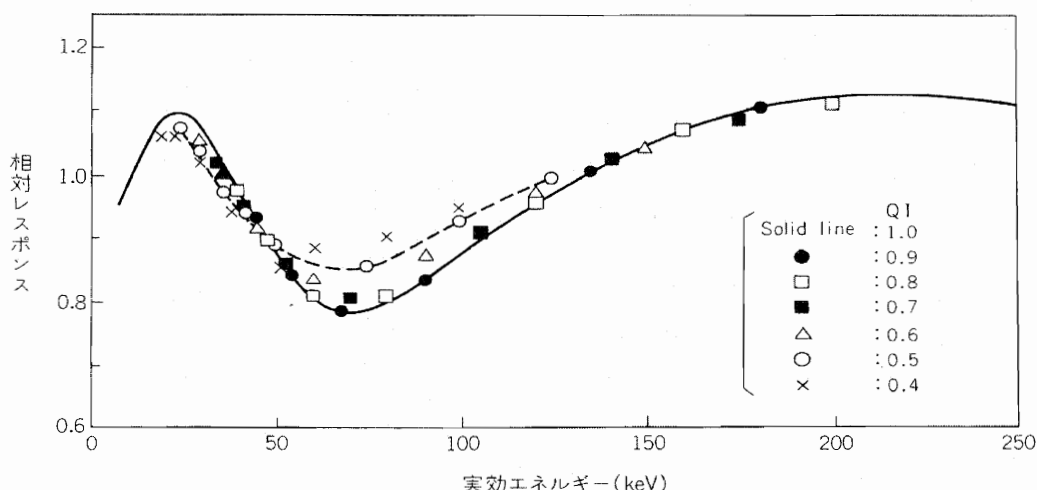
方がより明確であり，実効エネルギーと第一半価層との併記も行われている。

しかし，30 keV 以下ではアルミニウムを，30～200 keV の範囲では銅を各々半価層測定用フィルタとして使用すれば，実効エネルギーが滑らかに接続されて実用上の支障はない。放射線防護用測定器のエネルギー校正用の線質に関して，国際標準化機構(**ISO**)によって 1979 年国際規格が初めて制定され，1996 年に改正が行われた［**ISO 4037-1**(1996)］。同規格においては，連続分布 X 線の場合そのスペクトル幅に着目し，半価幅が平均エネルギーの 30 %前後の“狭スペクトル”及び 50～60 %の“広スペクトル”の各シリーズを判定し，通常，狭スペクトルシリーズの使用を推奨している。これらの狭スペクトルシリーズ及び広スペクトルシリーズは，線質指標で表すとそれぞれ 0.8 及び 0.7 程度に相当する。

なお，この **ISO** 規格では，実効エネルギーに代わり光子スペクトルの平均エネルギーが採用されている。しかし，この程度の重ろ過条件になると，実効エネルギーと平均エネルギーとの差異は認められない。

これらのシリーズは，放射線防護用測定器のエネルギー特性試験を目的としたもので，他の目的には線量率が不適切であり，後に治療レベルの線量率の“高空気カーマ率”及び環境レベルの“低空気カーマ率”シリーズが追加された。これらのシリーズは，線質指標の 0.5 及び 0.88 程度にそれぞれ対応する。

米国の国立標準・技術研究所（**NIST**，旧 **NBS**）では，従来から L，M 及び H の 3 種類の線質シリーズを使用してきた。これらの記号はそれぞれ軽，中及び重ろ過を意味している。1983 年に **ISO** 規格を考慮して各シリーズの内容を改正し，H シリーズは **ISO** 規格の狭スペクトルシリーズと等価でこれを 10 keV まで拡張したものとした。この内挿及び外挿手法として，均等度が滑らかな曲線で結ばれることに着目して行っている。

ある線質指標のシリーズを使用して基準測定器のエネルギー特性を求めた場合，一般に各エネルギー点の校正定数は，スムーズな曲線で結ばれる。**解説図 2** は，単色光子線に対して実線のレスポンスをもつ測定器を仮定し，これに線質指標が 0.4～0.9 シリーズの X 線場を使用して判定したものとして，計算で求めたレスポンスである。線質指標が小さいシリーズを使うほどレスポンス曲線は，よりなだらかになり，単色エネルギーに対するレスポンスとの差が曲線の極大値及び極小値近傍で最大になっている。

実際のレスポンスを仮定し，線質指標（QI）0.4～0.9の各シリーズのX線でレスポンスを求めた場合の計算結果。

解説図 2　検出器レスポンスの X 線スペクトル依存性の計算例

この計算例では吸収端の影響が無視できるなだらかなエネルギー特性を仮定しているが，電離箱式の基準測定器の場合は，一般にこの条件が運用できるので線質指標 0.8 のシリーズ又は **ISO** 規格の狭スペクトルシリーズを使用すれば，単色光子線を使用した場合と同等の校正結果が期待できる。

基準測定器の場合は，広スペクトル又は線質指標 0.7 シリーズを使用しても有意な差が認められない場合が多い。線量当量対応の測定器を校正する場合も狭スペクトルシリーズ又は線質指標 0.8 のシリーズを使用すれば，検出器材質の吸収端が作用する領域を除き単色光子線で校正した場合と同等の結果が一般に期待できる。

12. 照射線量（率），空気カーマ（率）などの校正定数の求め方（本体の **12.3　逆 2 乗法の場合**）　実用測定器などの定期的な校正作業においては，基準照射線量率としてその測定レンジの 1/2 以上の点で読取りやすい値（例えば，フルスケール 30 mSv/h であれば 20 mSv/h）を採用する。この場合，置換法よりも逆 2 乗法の方が基準線量率を迅速に設定でき，校正作業上有利である。逆 2 乗法に用いられる計算式は本体の **12.3** に示した簡便な式，基準測定器で測定した照射線量率と距離による関数式（多項式）など，校正作業を行う事業所又は機関によって各種の計算式が採用されている。

ある距離における基準となる照射線量率が明らかであれば，逆 2 乗法によって任意の距離における基準照射線量率を求めることができる（実際の校正作業では，ある基準照射線量率の得られる距離を求めることが一般的である）。しかし，γ 線のエネルギー，コリメート γ 線又は非コリメート γ 線，更に校正室の構造（広さ，構造材を含む。）によっては，線源からの距離が長くなるにつれて散乱線の影響が増大し，逆 2 乗法で求めた基準照射線量率と実際に基準測定器で測定される基準照射線量率との間には差が生じる。

校正を行う場の条件によって多少異なるが，線源から 5 m の位置における照射線量率には，コリメート γ 線の場合で約 15 %，非コリメート γ 線の場合で約 20～30 % が散乱線による照射線量率として含まれる。線源に近い位置（1 m 程度）における照射線量率を基に，線源から長距離における基準照射線量率を推定すると上記の理由から誤差を伴うことが分かる。

逆 2 乗法における誤差を小さくするためには，計算に用いる基準となる照射線量率の推定間隔を短くすればよい。本体の **12.3** に示される式を用いる場合には，求めようとする距離に近傍する位置における基準となる照射線量率を用いて精度よく推定でき，関数式を用いる場合には関数式を作成するためのデータ数が増えるため関数式の精度が向上する。逆 2 乗法で求めた基準照射線量率の基準測定器による実測値に対する誤差を ±3 % 以下とするためには，基準となる照射線量率の測定をコリメート γ 線の場合 1 m 間隔で，非コリメート γ 線の場合には 50 cm 間隔で行えばよいことがこれまでの経験及び実験結果から明らかである。

13. 線量当量（率）測定器の校正定数の求め方　線量当量（率）測定器は，**ICRU** 球線量当量（率）を測定目的量として製作されている。したがって，この測定器のレスポンス(R)は，本体の **9.2** に規定する方法で，**ICRU** 球線量当量（率）（$H_{1\ \mathrm{cm}}$ など）を求め，これでこの測定器を照射し，指示値(Q)を求めることによって，次の式(1)で示される。

$$R = \frac{Q}{H_{1\mathrm{cm}}} \qquad \cdots\cdots (1)$$

それゆえ，本測定器の校正定数(K')は式(1)の逆数として次の式で示されている。本体では，この式を用いて校正定数を示した。

$$K' = \frac{1}{R} = \frac{H_{1cm}}{Q} \quad \cdots\cdots (2)$$

14. 校正結果の記録　γ線源を使用した場合の校正結果の記録として，線源番号，核種及び基準点における線量率を記入することとした。実用測定器の校正結果の記録例を**解説表 1** に示す。ただし，環境条件は本体の**表 6** に示す規格値以内とする。

a) 校正結果の記録書について　“校正”という用語は，『国際計量基本用語(VIM2)』の **6.11** 項に規定され，次のように記述されている。

“校正(calibration)；計器又は測定システムによって指示される量の値，若しくは物質の測定及び参照標準物質によって表される値と標準によって実現される対応する値との関係を，特定の条件下で確定する一連の作業。”

“試験”という用語は，**ISO/IEC GUIDE 2** に“標準化及び関連活動－一般的な用語－”の **13** 項に規定され，次のように示されている。

“試験(test)；所定の製品，方法又はサービスについての一つ又はそれ以上の特性を決定する技術的な作業であって，規定された手順に従って行われるもの。”

さらに，**JIS Q 17025(IDT：ISO 17025)**（試験所及び校正機関の能力に関する一般的要求事項）において，試験と校正に関する結果の報告（**5.10**）とは区別されている。

したがって，この規格における“校正結果の記録”は，校正証明書(calibration certificate)又は校正報告書(calibration report)で統一することになった。

解説表 1　実用測定器の校正記録用紙の例
（例：電離箱式サーベイメータ）

校正年月日　平成　　年　　月　　日

被校正品名及び形式			製造者		
			校正者名		
製造番号					
環境条件	温度		相対温度		気圧
	～　℃		～　%		～　kPa
校正条件		校正結果			
γ線源 (^{137}Cs)	1 cm 線量当量率 (mSv/h)	レンジ (mSv/h)	平均指示値 (mSv/h)	指示誤差 (%)	校正定数
Bq					
Bq					
γ線源 (^{137}Cs)	1 cm 線量当量率 (µSv/h)	レンジ (µSv/h)	平均指示値 (µSv/h)	指示誤差 (%)	校正定数
Bq					
備考					

注　校正結果の記録には，次の事項を含めることが望ましい。

1.　校正の方法

校正の方法には，置換法，線源法，逆 2 乗法があるが，より具体的なマニュアル・手順書の名称（文書管理番号を含む）を明示することも一つの方法である。

2.　使用した基準

1)　基準測定器の場合，その管理番号と校正の有効期限（自ら校正周期を設定し，宣言されていることが望ましい。），又はその名称，形式，製造番号，製造業者及び校正の有効期限。

2)　基準γ線源の場合，核種，線源番号，基準点における線量率（値付け日を含む）及び校正の有効期限（自ら値付け確認周期を設定し，宣言されていることが望ましい。）を記入する。

3)　実用基準γ線源の場合，核種，線源番号及び基準点における線量率（値付け日を含む）を記入するほか，値付けに使用した基準測定器については，上記 **1)**によること。

V．法令及び国際規格の対応

1.　放射線障害防止法関係法令改正に対する対応　放射線に関連する量は，**ICRU Report 33**(1980)，**ICRU Report 60**(1998)などに定義されており，X 線，γ線の場を表す量として，照射線量及び空気カーマがある。

一方，**ICRP Publ.51**(1987)の **Table 9** 及び，1999 年まで施行されてきた放射線障害防止法関係法令（昭和 63 年告示第 15 号：放射線を放出する同位元素の数量等を定める件）においては，X 線，γ線の場を表す量として“空気吸収線量”が使用されてきた。

ICRP Publ.51 及び上記告示における“空気吸収線量”は，照射線量や空気カーマの代用として使用されているものであり，対象としている空間の点において，“仮に電子平衡が成り立った場合に，その点に存在する空気が受けるであろう吸収線量”の意味で用いられている。この“空気吸収線量”は，**ICRU Report 33, ICRU Report 60** などで定義され一般に使用されている“(空気の）吸収線量”とは異なるものである。

なお，通常の X 線，γ線の多くの場においては，電子平衡が成立していることは少なく，多くの場合，“ある点における空気の吸収線量”と“その点で仮に電子平衡が成り立った場合の空気吸収線量”との値は異なっている。**ICRP Publ. 51** 及びこれまでの障防法等で，X 線，γ線の場を表す量として“空気吸収線量”が使用されてきたのは，照射線量の単位(C/kg)が吸収線量及び線量当量の単位(J/kg)と異なること及び，空気カーマが一般的でなかったことによる一時的なものと考えられる。

これに対し **ICRP Publ. 74**(1997)においては，X 線，γ線の場を表す量として空気カーマが使用され，他の多くの防護量及び実用量が空気カーマからの算出量として示されている。また，障防法等においても，2000 年の改正において，空気カーマが取り入れられた。これによって，線量限度を示す実効線量及び測定すべき各種の線量当量の値は，空気カーマから換算されることとなった。

一方，原子力安全委員会による『環境放射線モニタリングに関する指針（2001 年改訂)』，『緊急時環境放射線モニタリング指針（2001 年改訂)』においては，上記“空気吸収線量”が使用されている。このため，この規格では，校正する量として，照射線量，空気カーマ，空気吸収線量及び線量当量のすべてを対象とした。

独立行政法人産業技術総合研究所では，従来，照射線量の国家標準を設定し，校正を行ってきたが，空気カーマによる校正も開始した。空気カーマを K_a，照射線量を X とすると，両者は，

$$K_a = X\frac{(W/\mathrm{e})}{(1-g)}$$

で表される。ここで (W/e) は，X 線及びγ線によって放出される二次電子に対する空気のW値を電荷素量 e で除したものであり，g は，それら二次電子が空気中において制動放射によって失うエネルギーの割合である。

W/e と g の値については，各国標準機関が使用すべき値として，$W/e = 33.97 \pm 0.05\ \mathrm{J/C}$ の値が[(1)]，g については，**解説表 2** に示す値が[(2)]，1985 年の国際度量衡委員会の下に設置されている電離放射線諮問委員会（CCRI，当時は CCEMRI）第 1 部会において合意された。

一方，**ICRU Report 47**(1992)には，この規格の**付表 3**“照射線量－空気カーマ換算係数”に示されている $(1-g)$ の値が掲載されているが，すべての $(1-g)$ の値を 3 けた表示としているため，光子エネルギー1 MeV 以下で $(1-g)$ の値は 1 となっている。したがって **ICRU Report 47** における $(1-g)$ の値の変化は，光子エネルギーが 1 MeV の所で，多少不連続となっている。しかし，制動放射損失に対する補正が重要となる，高エネルギーの光子に対しても $(1-g)$ の値が示されているため，この規格においては，**ICRU Report 47** の値をそのまま採用した。

(1)　BIPM，Physical constants for radiation measurement standards, Comit Consultatif pour les Etalons de

Mesure des Rayonnements Ionisants, Section I, R 157-158 (1985)

(2) CCEMRI(I)/85-18（ETL NEWS，2000.11，Vol.610，p.11 に値を掲載）

解説表 2 CCRI(I)による g の値

光子エネルギー(MeV)	g
0.05	0.54×10^{-4}
0.10	0.18×10^{-3}
0.2	0.44×10^{-3}
0.3	0.71×10^{-3}
0.4	0.97×10^{-3}
0.5	1.23×10^{-3}
0.6	1.48×10^{-3}
0.7	1.73×10^{-3}
0.8	1.99×10^{-3}
0.9	2.24×10^{-3}
1.0	2.50×10^{-3}
1.25	3.17×10^{-3}
1.5	3.86×10^{-3}

2. 計量法改正に対する対応 この規格は，計量法校正事業者認定制度(JCSS)に基づく基準測定器の校正は適用範囲外である。しかし，基準測定器を経由して実用測定器に移行する校正の体系の中には，必然的に JCSS 制度による校正の体系が含まれているので，最小限の用語などは取り上げた。

計量法トレーサビリティ制度の普及を図るため，計量法の一部が改正され,平成 13 年 4 月に施行された。新計量法では“常用参照標準”が新たに採用された。

常用参照標準とは，特定二次標準器に連鎖して校正された計量器であり，校正事業者の所有する最上位の標準器のことである。特定二次標準器を所有せず，常用参照標準を所有する認定事業者でも JCSS ロゴマーク付き校正証明書を発行できることになった。

計量法トレーサビリティ制度の最上位の国家標準は，特定標準器及びこれと同等の特定副標準器である。これらの国家標準で校正された認定事業者の電離箱式照射線量計は，特定二次標準器となる。認定事業者は,特定二次標準器を用いて JCSS 校正を行うが，これと同等の性能をもつ電離箱式照射線量計をワーキングスタンダードとして登録し，JCSS 校正サービスに使用することもできる。

常用参照標準の校正期間は，特定二次標準器と同等の電離箱式照射線量計であれば,特定二次標準器と同様 2 年間である。現在のところ，常用参照標準は電離箱式照射線量計に限定されているが，電離箱式照射線量計以外のものを指定したいとの要望もあり，検討中である。

今回の改正に当たっては，計量法のこの階層的構造を校正の体系に追加記述すべきかどうか議論となったが，放射線の分野においては常用参照標準によって校正する認定事業者がまだ実現していないこと，常用参照標準の具体的技術基準が定まっていないことなどの理由から，規定には取り入れなかった。

なお，今回の改正では，**ISO 17025**(2000)：(試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項)，GUM (1995)：(計測における不確かさの表現ガイド）などの国家標準の要求事項が導入された。また，平成 13 年 4 月から JCSS の認定業務が経済産業省から，独立行政法人製品評価技術基盤機構の適合性評価センターに移管された。

この適合性評価センターは，計量法の校正事業者認定制度と，工業標準化法の試験事業者認定制度とを

掌握している。試験事業者認定制度の概要を次に示す。

経済のグローバル化に対応して，JIS の国家的統一，国際ルールを基盤とした認定制度の国際的な相互認定の確立などを目的として平成 9 年に工業標準化法が改正され，試験事業者認定制度（JNLA：Japan National Laboratory Accreditation System)が創設された。

この試験所認定制度は，JIS マーク対象品以外の品目について製造業者が JIS への適合に関する自己宣言表示を行う場合の第三者による支援制度である。

認定された認定試験事業者は，JIS に基づいた試験を行い，試験結果を記載した JNLA 標章付き証明書を発行する。この証明書には，実施した試験項目について JIS の性能に適合する旨の表示ができる。

この制度は，金属材料，繊維製品，化学品，電気製品及び建築材料の分野で活用されているが，放射線分野ではまだ認定された試験事業者は存在しないようである。

JIS に基づく形式試験などを行い，JIS の性能に適合していることを公式に表明するには試験所認定制度の活用が必要である。

3. 国際規格（ISO 4037-1〜-3）との関係　この規格は，国家標準から実用測定器へと移行する校正の体系を明確にし，実用標準測定器，個人線量計などの校正方法及び実用測定器の確認校正の方法を規定したものである。

校正に使用する基準 X 線に関しては，線質の表示方法だけ規定し，具体的な発生方法は規定されていない。

実用照射線量（率）・空気カーマ（率）基準などの設定方法，不確かさの評価方法に関しても最小限の規定にとどめた。

ISO 4037 は，防護レベル（10 μGy/h〜10 Gy/h）用の線量（率）計の校正及び特性測定用の基準 X 線，γ 線に関する規格であり，次の 3 部で構成されている。

4037-1：基準 X 線，γ 線の発生方法とその特性

4037-2：空気カーマ（率）基準の認定方法

4037-3：エリアモニタ及び個人線量計の校正及びエネルギー特性と方向特性の決定方法

である。次に概要を記述する。

4037-1：基準 X 線の発生方法として蛍光(F)X 線と連続 X 線とを規定し，更に連続X線場を，低(L)カーマ率，狭(N)スペクトル，広(W)スペクトル及び高(H)カーマ率の 4 種類の線質シリーズに分類している。校正又は特性測定に使用する線質の許容範囲は管電圧の大きさとシリーズによって異なり L，N，W の各線質では規定された平均エネルギー又は半価層が 3〜5 %以内で，H シリーズでは半価層が 5〜10 %以内で合致することが規定されている。

4037-2：エネルギー範囲 8 keV〜1.3 MeV については，標準測定器として電離箱を使用し，標準線量として空気カーマ（率）を用いることを規定している。

基準線量の決定に影響する各種の誤差要因，補正項などについて詳細に記述されている。この規格の範囲外における 4〜9 MeV の標準光子場の認定方法についても規定している。

4037-3：校正又は特性試験を行う場合の基準として，**4037-2** で求めた空気カーマ（率）に乗じる次のような線量当量換算係数の表が示されている。

70 μm 線量当量に対しては，**ISO 4037-1** で規定された F，L，N，W，H の各線質シリーズのエネルギー点について，**ICRU** 球，指及び腕用のファントムを用いる場合の種々の角度に対する換算係数が 300 keV 以下のエネルギーについて示されている。

1 cm 線量当量に対しては，**ICRU** 球及び **ICRU** スラブファントムを使用したときの，同様の換算係数がX線の各種のシリーズ及びγ線について示されている。

VI. 今後の課題 照射線量用測定器及び線量当量用測定器の校正に関しては，この規格に導入された RI 線源のほかにも，測定器のエネルギー特性を求めるために種々の RI 線源の利用方法が想定される。今後，このような RI 線源を用いて行われる測定器の校正に関し，トレーサビリティ体系における位置づけを明確にすることが望まれる。

RI 線源の利用に関しては，各 RI 核種に関し，線量当量換算係数，使用条件と校正の不確かさとの関連を詳細に検討し，校正方法を規格化して内容の充実を図ることが今後に残された課題の一つである。

なお，トレーサビリティ制度は標準の移行にかかる制度であり，用いる用語は，国家標準，特定標準器及び特定二次標準器（以上，計量法に基づく認定事業所までの用語）の用語が使用され，以下，事業所現場では標準測定器，標準γ線源，標準実用照射線量（率）など末端まで“標準”の用語を使用しなければならない。“基準”の用語は検定制度で用いる用語であり，この規格での使用は適切ではないので，次回の見直し時に改正することとした。

VII. 附属書 1（規定）個人線量計の校正方法

1. 個人線量計校正の体系 個人線量測定では，線量計と人体が一体となって測定器を構成しているものとみなされ，したがって，個人線量計校正時には人体による散乱，遮へいを忠実に模擬するため線量計をファントム上に設置すること（ファントム校正）が基本となる。ファントム校正は，**ICRU** スラブ線量当量（率）基準による個人線量計の校正であり，その個人線量計の測定性能を決定すべき性格をもつため，個人線量計の種類及び形式ごとに実施しなければならないが，反面，一度行えばその後は定期的に実施する必要はない。つまり，製品ごとの形式検査に相当する校正である。ただし，エネルギー特性及び方向特性以外の性能については，一般にファントムは不要である。

個人線量計で測定している量（個人線量当量）は，自由空間中における測定に利用される測定器とは異なり，方向依存性をもつ量である。被ばくの基本量である実効線量も同様に方向依存性をもつ量であり，同じ照射条件下で個人線量当量の方が実効線量を安全側に評価する場合には，個人線量当量の方向依存値が個人の被ばく線量として正当化される可能性がないとはいえない。しかしながら，現在法令で示されている実効線量換算係数は，正面垂直入射に対するものだけであること及び，管理の実態として方向性を考慮しない最大線量値の測定が行われていることなど，非垂直照射時の線量値を線量限度及び放射線管理上の規準とする考え方は一般に通用する概念とはなっていない。したがって，現段階では，個人線量計の校正についても他の測定器に準じ，単一方向垂直照射に対してだけ規定することとした。

個人線量計は，長期間繰り返して使用されるため，この間の品質，不確かさの維持を確認するための定期的な点検調整が必要となる。このような実際の個人線量計の使用に当たっての定期検査についても，“ファントムを用いない校正”としてこの校正の体系に含めることによって個人線量計の長期間にわたる性能保持を図ることにした。個人線量計のファントムを用いない校正は，実際の個人線量計の管理者が行うものであり，上記の目的からその照射は，自由空間中又はある特定の照射条件下において，ある特定のエネルギーのγ線を用いて行う照射で十分であるとした。

2. ファントムについて 個人線量計の校正においてファントムは既に広く使用されている。この校正用ファントムとしては，**JIS Z 4331**（X・γ線及びβ線個人線量計校正用ファントム）で規定するファントム

を使用することが原則であり，今後，同規格の改正時には，諸外国の動勢をも考慮し，更に校正に適したファントムが規格化されることになろう。ところで，現在 **ISO** 規格などにおいては，比較的低エネルギーの光子に対する校正の際には 30×30×15 cm の大きさの水ファントムが推奨されている。これについては強度及び使い勝手などの問題もあり，それを国内で規格化するかどうかは前述した **JIS** の改正時の議論にゆだねればよいことであるが，この規格の範囲内においてはその使用を排除する理由はなく何ら問題がない。

3.　ファントム校正の距離計測に関すること　**ICRU** の個人線量当量の考え方では，その線量の定まる点は人体（ファントム）内部の点であり，したがって，人体表面に置かれた個人線量計の検出器部の前に人体組織を模擬する適切な厚さの被覆を施せば，検出器の位置が線量値の定まる点に一致するとみなすことができる。このとき個人線量計は人体の一部であり，直接個人線量当量が測定される。現実の線量計の検出器部における被覆状況及び人体との位置関係は必ずしもこの概念には順応しないが，校正方法の規格化に当たっては統一した手法を用いるべきであり，線量の規定点，したがって校正の基準点についても統一した位置を定めることが望まれる。校正の際に，校正の基準点をどこにすべきかということは，校正の実務上重要な問題であり，線量計個々の **JIS** において相違がある現状は必ずしも容認すべきものではない。このようなことから，上記の考え方に基づき線量の規定点を線量計の検出器の中心に定めることとし，統一を図ることとした。ただし，この考え方では，厳密には線量計は人体の一部と見なせる位置関係にあることが重要で，少なくとも検出器部がファントム表面に接触していなければならないという条件が必要となる。現実には線量計と人体の間にはホルダーのクリップ厚さその他の要因によって空げき（隙）が存在しているが，世界的にもこの程度の空げきに伴う変動は許容範囲にあるとみなされており，上記の統一された方式は十分に合理性があるものと考える。一方，このことから逆に，照射距離を 2 m 以上とした場合，従来のファントム表面を校正の基準点とする方法も容認されるべきであるとした。

4.　個人線量計の実用校正　従来の本規格においても，ファントムを用いない校正（“実用校正”という用語を用いていた）について規定していたが，これは主に後方散乱因子だけに着目した校正の簡略化の方法を示すものであった。しかしながら，後方散乱因子がファントムのある場合とない場合との変換手段として使用できるのは，ファントム校正に使用した照射場と同一の場での照射に限られ，一般に広く利用されている円形の照射装置及び簡易形の照射装置においては十分にその方法の妥当性を説明することはできていなかった。このため，様々な照射方法が用いられる個人線量計のファントムなし校正の考え方を統一して明確にすることとし，用語も“ファントムを用いない校正”と一般化した。

この規格においては，ファントムを用いない個人線量計の校正は，ファントム校正によって校正定数を確定させたある形式の個人線量計を用いて，同一形式の線量計を（どのような装置及び線源であろうと）一定条件の他の方法で照射する場合の校正のやり方であるとした。つまり，あらかじめファントム校正によって校正定数を得た個人線量計そのものを，それと同一形式の線量計に対してだけ使用可能な“実用基準測定器”と見なす一般的方法であることを明示した。これによって多数の線量計の同時照射を目的とする円形の照射装置の利用及び基準線量率をもたない小線源の利用なども明確にこの **JIS** の範ちゅうとして容認されることとなり，使用者による線量計の独自の定期的な品質管理の可能性が増大した。

なお，従来の後方散乱因子を使用する校正は，この一般化した“ファントムを用いない校正”のある特別な一例と考えることができる。

Ⅷ. 附属書 2.（規定）実用測定器の確認校正

確認校正は，国家標準につながる本体 **4.**“校正の体系”の中で校正された実用測定器の性能が校正後も維持され，校正定数が継続して使用できるか否かを判定するための簡易校正である。確認校正は，3.7 MBq 以下の小線源を用い，検出器と線源の配置位置を再現性の良い方法で固定し，指示値確認が可能なレンジで行う。

現在も原子力施設内のエリアモニタ，ガスモニタなどはチェッキング線源を用いて動作確認を行い，その結果として測定器の性能と校正定数（換算係数）とが継続して使用できることを証明している。そこで，この校正方法をサーベイメータにも適用し，放射線測定器全般に拡大し，確認校正方法として位置づけ，確認校正を新規に規定した。**解説表 3** に実用測定器の確認校正の記録用紙例を記載してある。

解説表 3　実用測定器（電離箱式サーベイメータ）の確認校正記録用紙の例

校正記録					
形式・製造番号			校正年月日	年　月　日	
校正機関名			校正報告書番号		
放射線校正	環境条件	温度：　℃	湿度：　℃	気圧：　kPa	
	使用線源	レンジ	基準線量当量率	メータ指示値	校正定数

初期確認			
実施年月日	年　月　日	実施者名	
環境条件	温度：　℃	湿度：　%	気圧：　kPa
使用線源	照射条件	初期指示値	
核種 線源番号			

確認校正						
確認年月日	実施者名	環境条件	指示値	半減期補正	点検結果	総合判定
・　・		温度：　℃ 気圧：　kPa 湿度：　%		経過日数： 補正係数： 補正後指示値：		
・　・		温度：　℃ 気圧：　kPa 湿度：　%		経過日数： 補正係数： 補正後指示値：		
・　・		温度：　℃ 気圧：　kPa 湿度：　%		経過日数： 補正係数： 補正後指示値：		
・　・		温度：　℃ 気圧：　kPa 湿度：　%		経過日数： 補正係数： 補正後指示値：		
・　・		温度：　℃ 気圧：　kPa 湿度：　%		経過日数： 補正係数： 補正後指示値：		

IX. 原案作成委員会の構成表 原案作成委員会の構成表を，次に示す。

JIS Z 4511 改正原案作成委員会 構成表

		氏名	所属
(委員長)		濱 田 達 二	社団法人日本アイソトープ協会
(オブザーバー)		穐 山 貞 治	経済産業省産業技術環境局
(委員)		石 田 正 美	文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課
		金 澤 晃	経済産業省原子力安全保安院原子力安全課
		上 田 博 三	厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課
		山 村 修 蔵	財団法人日本規格協会
(分科会委員長)	○	南 賢太郎	財団法人原子力安全技術センター
	○	高 田 信 久	独立行政法人産業技術総合研究所放射線標準研究室
	○	松 本 健	財団法人日本品質保証機構計量計測センター
	○	丸 山 隆 司	放射線医学総合研究所
	○	加 藤 朗	国立公衆衛生院
	○	村 上 博 幸	日本原子力研究所東海研究所保健物理部
	○	辻 村 憲 雄	核燃料サイクル開発機構東海事業所放射線安全部
	○	川 瀬 弘 二	東京電力株式会社原子力管理部
	○	西 村 健	関西電力株式会社原子力事業本部
	○	村 松 邦 博	日本原子力発電株式会社発電管理室
	○	征 矢 郁 郎	三菱重工業株式会社原子力事業本部原子力技術部
	○	佐々木 幸 男	財団法人放射線計測協会
	○	中 村 吉 秀	社団法人日本アイソトープ協会
	○	鈴 木 英 伸	株式会社千代田テクノル大洗研究所
	○	三 戸 美 生	松下産業機器株式会社情報システム機器事業部
	○	青 山 敬	富士電機株式会社放射線システム部技術課
	○	松 原 昌 平	アロカ株式会社第二技術部
	○	柚 木 彰	株式会社東芝電力システム社原子力計装システム部
	○	渡 邉 道 彦	株式会社シー・イー・シー
(オブザーバー)	○	平 野 泰 裕	株式会社千代田テクノル営業推進本部
(事務局)		久保野 隆 一	社団法人日本電気計測器工業会

備考 ○印は，分科会委員を示す。

（文責 **JIS Z 4511** 改正原案作成委員会）

★内容についてのお問合せは，標準部標準調査課［**FAX**(03)3405-5541 **TEL**(03)5770-1573］へご連絡ください。

★**JIS** 規格票の正誤票が発行された場合は，次の要領でご案内いたします。

(1) 当協会発行の月刊誌“標準化ジャーナル”に，正・誤の内容を掲載いたします。

(2) 原則として毎月第 3 火曜日に，“日経産業新聞”及び“日刊工業新聞”の **JIS** 発行の広告欄で，正誤票が発行された **JIS** 規格番号及び規格の名称をお知らせいたします。

なお，当協会の **JIS** 予約者の方には，予約されている部門で正誤票が発行された場合，自動的にお送りいたします。

★**JIS** 規格票のご注文は，普及事業部カスタマーサービス課［**TEL**(03)3583-8002 **FAX**(03)3583-0462］又は下記の当協会各支部におきましてもご注文を承っておりますので，お申込みください。

JIS Z 4511

照射線量測定器，空気カーマ測定器，
空気吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法

平成 17 年 3 月 20 日　第 1 刷発行

編集兼発行人　坂 倉 省 吾

発 行 所

財団法人 日 本 規 格 協 会

〒107-8440　東京都港区赤坂 4 丁目 1-24

http://www.jsa.or.jp/

札幌支部　〒060-0003　札幌市中央区北 3 条西 3 丁目 1　札幌大同生命ビル内
TEL (011)261-0045　FAX (011)221-4020
振替：02760-7-4351

東北支部　〒980-0811　仙台市青葉区一番町 2 丁目 5-22　仙台ウエストビル内
TEL (022)227-8336(代表)　FAX (022)266-0905
振替：02200-4-8166

名古屋支部　〒460-0008　名古屋市中区栄 2 丁目 6-1　白川ビル別館内
TEL (052)221-8316(代表)　FAX (052)203-4806
振替：00800-2-23283

関西支部　〒541-0053　大阪市中央区本町 3 丁目 4-10　本町野村ビル内
TEL (06)6261-8086(代表)　FAX (06)6261-9114
振替：00910-2-2636

広島支部　〒730-0011　広島市中区基町 5-44　広島商工会議所ビル内
TEL (082)221-7023,7035,7036　FAX (082)223-7568
振替：01340-9-9479

四国支部　〒760-0023　高松市寿町 2 丁目 2-10　JPR 高松ビル内
TEL (087)821-7851　FAX (087)821-3261
振替：01680-2-3359

福岡支部　〒812-0025　福岡市博多区店屋町 1-31　東京生命福岡ビル内
TEL (092)282-9080　FAX (092)282-9118
振替：01790-5-21632

Printed in Japan　HE/H

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Methods of calibration for exposure meters, air kerma meters, air absorbed dose meters and dose-equivalent meters

JIS Z 4511 : 2005

(JEMIMA/JSA)

Revised 2005-03-20

Investigated by

Japanese Industrial Standards Committee

Published by

Japanese Standards Association

定価 2,835 円（本体 2,700 円）

ICS 17.240

Reference number：JIS Z 4511:2005(J)